

(631)

## **Vorstellung des Entwicklungsvorhabens GSB-Brennelementbestrahlungen im He-Loop-Mol**

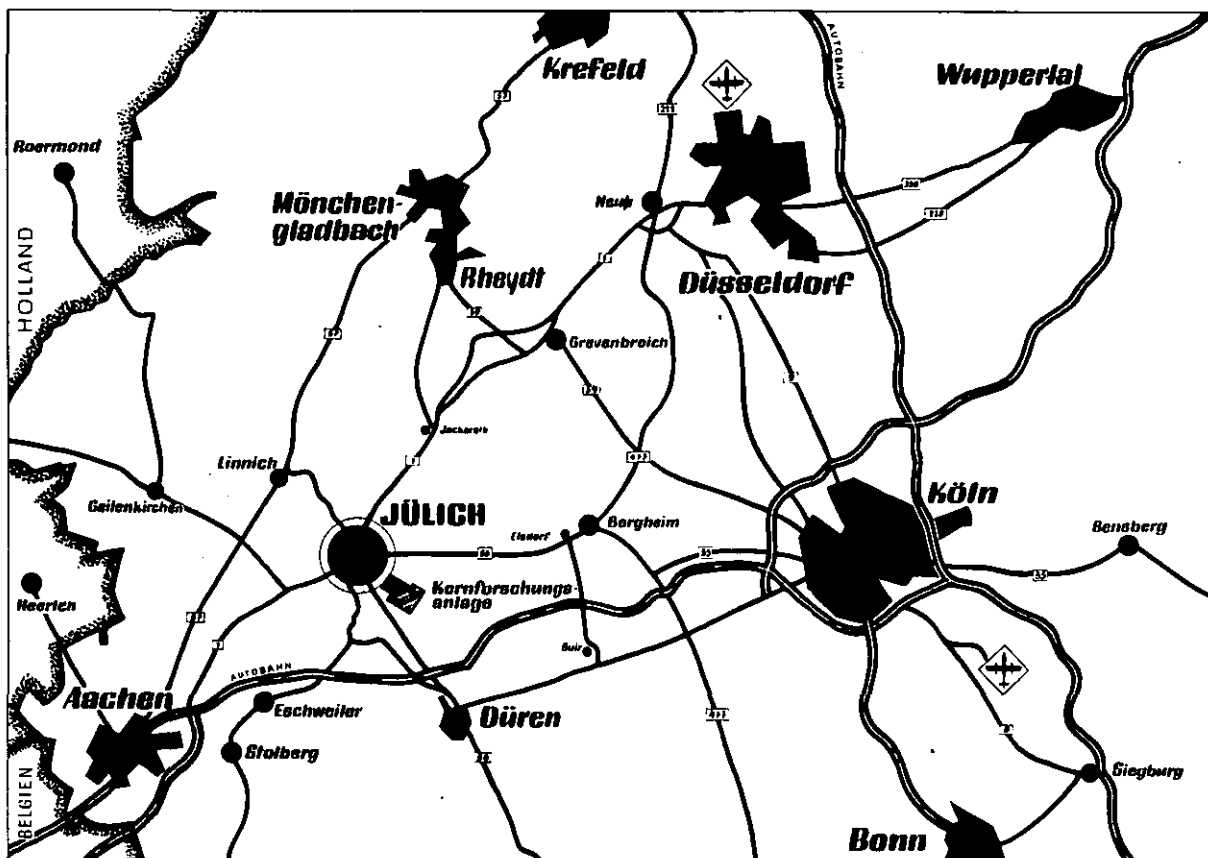
**veranstaltet am 26. Februar 1973  
vom Institut für Reaktorwerkstoffe  
und Zentralinstitut für Reaktorexperimente  
der Kernforschungsanlage Jülich  
unter Beteiligung der Siemens AG - Erlangen,  
der GfK - Karlsruhe und des  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire Mol**

Herausgeber

W. Krug

**Jül - Conf - 9  
Juni 1973**

Als Manuskript gedruckt



## Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Jül - Conf - 9

Dok.: Gas Cooled Fast Breeder - Vented Fuel  
Vented Fuel - Performance Test

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,  
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

# **Vorstellung des Entwicklungsvorhabens GSB-Brennelementbestrahlungen im He-Loop-Mol**

**veranstaltet am 26. Februar 1973  
vom Institut für Reaktorwerkstoffe  
und Zentralinstitut für Reaktorexperimente  
der Kernforschungsanlage Jülich  
unter Beteiligung der Siemens AG - Erlangen,  
der GfK - Karlsruhe und des  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire Mol**

Herausgeber

W. Krug

7.2.1973

**Vorstellung des Entwicklungsvorhabens  
"GSB-Brennelementbestrahlungen im Helium-Loop-Mol"**

Datum: 26. 2. 1973  
Ort: KFA, Großer Hörsaal  
der Zentralbibliothek  
Zeit: 9,00 - 13,15 Uhr

<u>Tagesordnung:</u>	<u>Seite</u>
9,00 h 1. Begrüßung	Prof. K.H. Beckurts, KFA 1
9,05 h 2. Einführung	W. Krug, KFA-IRW 2
9,15 h 3. Zielsetzung	H. Stehle, SAG 7
9,30 h 4. Stellung des Vorhabens im Rahmen der NEA	S. Krawczynski, KFA-IRW 16
9,40 h 5. Inpile-Strecke	K. Sachse, KFA-ZIR 22
9,55 h 6. Testbrennelement	W. Jung, SAG 27
10,10 h 7. Treiberbrennelemente und Brennelemententladesystem	A. Falla, CEN-Mol 37
10,25 h 8. Versuche zur Entwicklung der Test-Brennelemente	M. Peehs, SAG 43
10,40 h 9. Neutronenphysikalische Be- rechnungen und Versuche	J. de Brue, CEN-Mol 51
10,55 h 10. Kalibrierversuche	M. Dalle-Donne, GfK-INR 57
11,10 h Diskussion	
11,25 h Kaffeepause	
11,45 h 11. Hauptkreislauf	W. Krug, KFA-IRW 68
12,00 h 12. Spaltgassammelsystem	H. Stechemesser, KFA-ZIR 74
12,15 h 13. Nebenkreisläufe	A. Zumloh, KFA-IRW 82
12,30 h 14. Instrumentierung	J. Zeumann, KFA-ZIR 88
12,45 h 15. Terminplanung	A. Lambertz, KFA-ZIR 93
13,00 h Abschlußdiskussion	
16. Schlußwort	S. Krawczynski 101
13,30 h Mittagessen	

## P R E F A C E

---

The Institute for Reactormaterials and the Central Institute for Reactorexperiments of the Kernforschungsanlage Jülich GmbH (Nuclear Research Center Jülich Western Germany ) organised a meeting on February 26. 1973 in collaboration with Siemens AG, the Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe and the Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire Mol (Belgium). Session was hold at the KFA main audience hall of the central library. Purpose of this meeting was the official presentation of the "Development project for GCFR-Fuel-Element Irradiations in the He-Loop-Mol".

Beside the numerous interested participants of KFA also guests from the Federal Ministry of Research and Technology, CEN-Mol, GfK-Karlsruhe, Siemens AG - Erlangen, GGA-E-Zürich and GBRA-Brussels were present.

Invitations were dispatched by the KFA management. Guests were welcomed and program was inaugurated by Prof. Beckurts. The importance, the aim, the planning, the extend and the technical conception of these GCFR-Fuel-Element Irradiations were presented in 14 different lectures. The speakers were the actual responsables or experts of the collaborating partners KFA, SAG, CEN and GfK.

All presented papers at the meeting are joined in this conference publication.

## V O R W O R T

Das Institut für Reaktorwerkstoffe und das Zentralinstitut für Reaktorexperimente der Kernforschungsanlage Jülich veranstalteten gemeinsam mit der Fa. Siemens A.G., der Gesellschaft für Kernforschung m.b.H. Karlsruhe und dem Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire Mol am 26. Februar 1973 im großen Hörsaal der Zentralbibliothek der KFA eine Tagung, bei der das Entwicklungsvorhaben

"GSB - Brennelementbestrahlungen im He-Loop-Mol"  
öffentlich vorgestellt wurde.

Neben zahlreichen Interessenten aus der KFA waren Gäste vom BMFT, CEN-Mol, GfK-Karlsruhe, Fa. Siemens A.G. - Erlangen, GGA-E-Zürich und GBRA Brüssel anwesend.

Die Einladung erfolgte durch die Geschäftsführung der KFA, die Begrüßung der Gäste und Eröffnung des Programms erfolgten durch Herrn Prof. Beckurts. In 14 Einzelvorträgen wurden die Bedeutung, Zielsetzung, Planung, Umfang und das technische Konzept dieser GSB-Brennelementbestrahlungen vorgetragen. Die Vortragenden waren die entsprechenden Verantwortlichen bzw. Sachbearbeiter der an diesem Vorhaben beteiligten Partner KFA, SAG, CEN und GfK.

Alle Vortragsmanuskripte der Tagung sind in diesem Konferenzbericht zusammengestellt.

## 1. BEGRÜSSUNG

Prof. K.H. Beckurts, Geschäftsführer der KFA-Jülich

Ich begrüße Sie sehr herzlich zum 1. Statusbericht über die Gasbestrahlungsexperimente im Helium-Loop in Mol.

Ich begrüße insbesondere die Gäste aus dem Ausland und die Gäste aus der Industrie. Ich bitte zu entschuldigen, daß der Beginn der Veranstaltung sich ein wenig verzögert hat, jedoch ist auf Grund des Wetters die Anreise einiger unserer Gäste etwas verspätet erfolgt.

Wir freuen uns sehr, daß nach einer sehr langen Phase der vorbereitenden Diskussion Ende des vergangenen Jahres der Vertrag zwischen der Kernforschungsanlage Jülich und der Firma Siemens über das große Bestrahlungsexperiment für den Gasbrüter in Mol unterschrieben werden konnte. Wir glauben, daß es sich hier um ein sehr wichtiges und sehr zukunftsweisendes Programm handelt, bei dem eine enge Kooperation der Forschungszentren innerhalb der Bundesrepublik, der Forschungszentren über die Grenzen der Bundesrepublik und eine enge Kooperation zwischen Forschung und Industrie erfolgen wird. Dabei streben wir an, die Internationalität dieses Projektes, das ja auch eine wichtige Rolle im Rahmen der europäischen Kern-Energie-Agentur spielt, noch weiter zu vergrößern und dieses Projekt noch stärker in die internationale Zusammenarbeit einzubetten. Wenn auch heute auf dem Gebiet der schnellen Brutreaktoren auf Grund der Tatsache, daß die großen politischen Entscheidungen in Richtung auf den Natriumbrüter-Prototyp gefallen sind, der Gasbrüter vielleicht nicht eine kurzfristige Realisierungschance hat, glauben wir, daß seine Bedeutung und sein Potential so groß sind, daß eine sorgfältige Untersuchung seiner wichtigsten Probleme zügig weiterbetrieben werden kann in dem Sinne, daß er einerseits eine wichtige back-up-Lösung für dieses Problem darstellt und zum anderen, daß er ein - auf die lange Sicht gesehen - ungeheuer großes Potential hat, das auf jeden Fall ausgenutzt werden muß.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine erfolgreiche Veranstaltung heute, hoffe, daß dies eine erste Veranstaltung in einer ganzen Reihe von ähnlichen Statusberichten sein wird, und hoffe ich, daß diese Zusammenarbeit, diese besonders intensive Zusammenarbeit vieler Stellen an diesem Projekt, ein Erfolg sein wird.

## 2. EINFÜHRUNG

W. Krug, KFA-IRW

Zur Untersuchung und Erprobung von ventilierten GSB-Brennelementbündeln sind Bestrahlungen im He-Loop-Mol im BR-2 in Mol/Belgien geplant. Wir möchten heute allen Mitwirkenden und Interessierten der an diesem Vorhaben beteiligten Partner einen Überblick über Umfang, Planung und Stand dieser Bestrahlungsexperimente geben.

Diese GSB-Brennelementbestrahlungen im He-Loop-Mol sind ein gemeinsames Vorhaben der Firma Siemens AG-Erlangen und der KFA-Jülich. Im Dezember vergangenen Jahres wurde ein KFA-Siemens-Zusammenarbeitsvertrag unterzeichnet, der die Grundlage für die Durchführung dieses Vorhabens darstellt.

Ein Dreiervertrag über einen Informationsaustausch zwischen KFA, Siemens und Gulf General Atomic, kurz GGA, ist in Vorbereitung. Verhandlungs- und Informationsgespräche haben bereits mehrfach stattgefunden.

Neben den Vertragspartnern KFA und Siemens sind die GfK-Karlsruhe und das CEN-Mol an diesem Vorhaben beteiligt.

Die Aufgaben sind folgendermaßen auf diese vier Partner verteilt:

Siemens ist zuständig für die Entwicklung und Herstellung der Testbrennelemente.

KFA hat die Planung, Vorbereitung und Durchführung der Bestrahlungen übernommen.

Die Heiß-Zellen-Nachuntersuchungen sind eine gemeinsame Aufgabe der KFA und Siemens und werden teilweise in Jülich und teilweise in Erlangen durchgeführt.

Das CEN-Mol, als Betreiber des BR-2, ist zuständig für die Durchführung der neutronenphysikalischen Messungen und Berechnungen und für die Bereitstellung der Bestrahlungsposition und der Treiberbrennelemente. Es hat außerdem die Bearbeitung der Brennelemententladung übernommen. Weiterhin ist es an der Durchführung von Vorbereitungsarbeiten und an der Durchführung der Bestrahlungen beteiligt.

Bei der GfK werden thermodynamische Vorversuche zur Bestimmung der Wärmeübergangszahlen und der Druckverluste im Brennelementbündel an elektrisch beheizten Originalgeometrien durchgeführt.

Die Lenkung des Gesamtvorhabens obliegt dem Fachausschuß "GSB-Brennelementbestrahlungen Mol", in dem die KFA, Siemens und GfK-Karlsruhe vertreten sind. Wir hoffen und rechnen damit, daß das CEN-Mol sich in Kürze ebenfalls aktiv, d. h. mit eigenem finanziellen Beitrag, an dem Vorhaben beteiligen wird, wodurch der Fachausschuß entsprechend erweitert würde.



Die Bestrahlungsversuche sollen in dem im BR-2-Mol vorhandenen ehemaligen CO<sub>2</sub>-Loop durchgeführt werden, das zum sogenannten He-Loop-Mol umgebaut werden soll. Dazu muß die Versuchsanlage für die neuen Betriebsbedingungen ausgelegt, angepaßt, umgebaut und ergänzt werden. Aus den folgenden Beiträgen werden Sie erkennen, daß die alte CO<sub>2</sub>-Versuchsanlage nur noch geringe Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten mit dem He-Loop-Mol haben wird. Dieser "Umbau" ist ein wesentlicher Teil der Versuchsvorbereitungen und gehört zum Aufgabenbereich der KFA. Die gesamte Versuchsanlage wurde in einzelne Hauptbaugruppen (Vorgänge) aufgeteilt, die jeweils von dafür zuständigen Sachbearbeitern bzw. Projektingenieuren (Vorgangsverantwortliche) bearbeitet werden.

Die Versuchsanlage setzt sich demnach aus folgenden Hauptbaugruppen zusammen:

1. Inpile-Strecke:  
Sie ist vollständig neu zu erstellen.
2. Hauptkreislauf:  
Der alte Kreislauf wird weitgehend weiterverwendet, trotzdem sind umfangreiche Umbauten erforderlich.
3. Spaltgassammelsystem:  
Dieses System ist eine vollständig neue Baueinheit, um das die Versuchsanlage ergänzt werden muß.
4. Nebenkreisläufe:  
Wesentliche Teile, wie z. B. He-Reinigung, Gasanalyse, Druckregelung usw., sind neu zu erstellen. Ein Teil der Nebenkreisläufe kann jedoch ohne oder mit geringen Änderungen übernommen werden. Dazu gehören z. B. die Entleerung, Kühlwasserkreisläufe, Cubicle-Ventilation usw.
5. Elektrische Instrumentierung:  
Hier wird das vorhandene System weitgehend übernommen, wobei jedoch erhebliche Änderungen erforderlich sind.
6. Brennelemententladesystem:  
Auch dieses System wird komplett neu konzipiert und gebaut.

Zu diesen Hauptbaugruppen werden wir von den betreffenden Sachbearbeitern kurze Übersichtsvorträge hören. Ein weiterer Vortrag behandelt die Terminplanung. Es ist vorgesehen, das Vorhaben nach einem detaillierten Terminplan abzuwickeln.

Weitere Vorträge behandeln die Arbeitsbereiche und Tätigkeiten der übrigen drei Partner Siemens, CEN und GfK, wie Sie aus dem Programm entnehmen können.

Neben den hier beschriebenen Tätigkeiten sind zahlreiche weitere Einzeltätigkeiten zur Durchführung des Vorhabens erforderlich, wie z. B. Berechnungen aller Art (thermische, thermodynamische, nukleare, Festigkeitsberechnungen usw.), die von weiteren Sachbearbeitern durchgeführt werden, auf die aber hier wegen der Kürze der Zeit nicht im einzelnen eingegangen werden kann.

Dieses Vorhaben wird innerhalb des KFA-Forschungs- und Entwicklungsvorhabens 10.700 "Brennelemente für Gasgekühlte Schnelle Brüter" abgewickelt und finanziert. Für das Gesamtvorhaben sind Kosten von 20 Mio DM veranschlagt worden. Davon entfallen etwa 5,5 Mio DM auf die Versuchsvorbereitung mit dem Umbau der Versuchsanlage, der Entwicklung und Herstellung der Testbrennelemente, Bau und Erprobung des Brennelemententladesystems und aller dafür erforderlichen Versuchs- und Entwicklungsarbeiten. Die Versuchsdurchführung erfordert Kosten in Höhe von ca. 7 Mio DM. Darin sind die Neutronenkosten, Kosten für die Treiberbrennelemente und alle Versuchskosten enthalten. Weiterhin sind im Gesamtbetrag die Heißzellen-Nachuntersuchungen und alle Personalkosten enthalten. Siemens trägt von den in ihrem Aufgabenbereich anfallenden Kosten die für solche Vorhaben üblichen 10% als Eigenbeteiligung. Die Kosten für die Durchführung der Kalibrierversuche werden von der GfK-Karlsruhe getragen.

Wie man sieht, entfällt ein Großteil der Kosten auf die Erstellung der Versuchsanlage. Da mit weiteren Versuchen bzw. mit Anschlußexperimenten zu rechnen ist, kann man diese Kosten nur zu einem entsprechenden Teil den bis jetzt geplanten zwei Bestrahlungen anrechnen, so daß die Bilanz dafür etwas günstiger wird.

Die Vorbereitungsphase wird ca. zwei Jahre ab Vertragsabschluß in Anspruch nehmen.

Weitere drei Jahre werden die Durchführung der Bestrahlungen und die Heißzellen-Nachuntersuchungen dauern, so daß nicht vor Ende 1977 bzw. Anfang 1978 mit dem Abschluß der bis jetzt geplanten Arbeiten gerechnet werden kann.

Im Bereich der KFA sind drei Institute an diesem Vorhaben beteiligt, und zwar das Institut für Reaktorwerkstoffe (IRW), das Zentralinstitut für Reaktorexperimente (ZIR) und das Zentrallabor für Elektronik (ZEL).

Das IRW hat die Koordinierung der Experimentevorbereitung sowie die Bearbeitung und den Umbau der Versuchsanlage übernommen und ist für die Durchführung der Bestrahlungen verantwortlich.

Im ZIR werden die Inpile-Strecke, das Spaltgassammelsystem, die elektrische Instrumentierung und die Terminkontrolle bearbeitet sowie ein Großteil der thermodynamischen und nuklearen Berechnungen durchgeführt.

Die Bearbeitung der Frequenzumformer zum Antrieb der He-Gebläsemotoren erfolgt durch das ZEL.

In mehreren Sitzungen des Fachausschusses wurden die Testbedingungen und die Zielsetzung dieser Bestrahlungsversuche diskutiert und festgelegt.

Zum Abschluß möchte ich Ihnen, in einem Dia zusammengefaßt (Abb. 1), die wesentlichsten Auslegungs- und Betriebsdaten zeigen.

Bestrahlt werden sollen belüftete Brennelementbündel mit künstlich aufgerauhten Edelstahlhüllrohren und Pu-U-Mischoxidbrennstoff. Die Zahl der Stäbe im Bündel beträgt 12, der Stabdurchmesser 8 mm. Die Länge der Stäbe wurde den Verhältnissen des BR-2 (Corehöhe 600 mm) angepaßt.

Die maximale Stabileistung soll 500 W/cm bei einer maximalen Hüllrohroberflächentemperatur von 700°C betragen. Der Zielabbrand beträgt 60.000 MWd/t (Pu+U).

Das Betriebsmedium ist Helium bei einem Betriebsdruck von 61 ata. Die maximal zulässige Gastemperatur beträgt 600°C. Bei einem Gasdurchsatz von 0,25 kg/s betragen die Brennelementein- bzw. -austrittstemperaturen ca. 350 bzw. 580°C.

## Test - Fuelelement - Bundle - Data

Function	:	vented
Rod - number	:	12
Rod - diameter, outer	[mm] :	7,0
Fuel	:	(U/Pu) O <sub>2</sub>
Cladding - material	:	stainless - steel
Height of fuel zone	[mm] :	600
Total rod length	[mm] :	920
Rod - surface	:	artificial roughened

## Design - Data

Max. rod - power	[W/cm] :	500
Total bundle power	[kW] :	300
Max. cladding - temperature	[°C] :	700
Burn - up - objective	[MWd/t] :	60000 (100000)

## Loop - Data

cooling - gas	:	Helium
operation - pressure	[kp/cm <sup>2</sup> ]:	61
Mass - flow	[kg/s] :	0,25
	[Nm <sup>3</sup> /h ] :	5210
He - inlet - temperature	[°C] :	347
He - outlet - temperature	[°C] :	575

KFA - Jülich Gas - Cooled - Fast - Breeder -  
 IRW - BTB Irradiation - Tests  
 He - Loop - Mol

Juni 1972

### 3. ZIELSETZUNG UND TECHNISCHER BACKGROUND

Dr. H. Stehle, SAG

In den Entwurf des 4. deutschen Atomprogramms ist der gasgekühlte Brüter als eine aussichtsreiche Alternativlösung zum Natriumgekühlten Brüter aufgenommen worden. Die Brennelemente und die Sicherheit werden als die "Schlüsselprobleme" dieses Reaktortyps bezeichnet. Vergleicht man die Brennstoffzykluskosten beider Varianten, so findet man in "erster Näherung" eine Patt-Situation vor; d. h. der Gasbrüter zieht seine Vorteile keineswegs aus einem besseren, einfacheren oder billigeren Brennstoffkreislauf, sondern aus seinen vermutlich günstigeren Anlagen- und Betriebskosten. Dennoch ist das Brennelement indirekt der Schlüssel zum Erfolg, da das Gesamtkonzept des Gasbrüters unserer Betrachtung wesentlich an das Brennelement-Konzept gekoppelt ist.

Mein erstes Dia (Abb. 1) zeigt Ihnen eine Prinzipskizze unseres Gasbrüter-Brennelementes. Es zeigt ein Brennstab-Bündel in einem Brennelement-Kasten mit Maschenabstandshaltern und einem Stabhalte- und Spaltgasführungsgitter. Die Hüllrohroberfläche ist zur Erhöhung der Wärmeübergangszahl aufgeraut. Die Brennstabendkappen sind durchbohrt, und die Spaltgase werden über zwei Aktivkohlefallen im Brennelementkopf bzw. in den Brennstäben an der Spaltgasübertrittsstelle abgesaugt. An dieser Stelle ist der Spaltgaskreislauf prinzipiell offen mit einem definierten Helium-Saugstrom aus dem Kühlmittel in das externe Spaltgasabscheidesystem.

Wir sehen die Vorteile dieses ventilierten Brennelement-Konzepts in folgenden Punkten:

1. Druckentlastung der Brennstab-Hüllrohre; es bleibt praktisch nur der einsinnig wirkende Schwelldruck des Brennstoffs;
2. Etwa 15% Einsparung an Brennelement-Länge durch Wegfall eines Spaltgasplenums und damit Verringerung des core-Druckverlustes und der Bauhöhe vieler Komponenten;
3. Stark verringerter Spaltprodukt-Austritt im Defektfall, da im Brennstab Unterdruck herrscht gegenüber dem Kühlmittel;
4. Möglichkeit der Defekt-Überwachung durch Messung der kurzlebigen Aktivitäten in der externen Absaugleitung.
5. Sicherheitstechnische Vorteile bei Kühlmittel-Verlust-Unfällen.

Die hauptsächlichen Problemstellungen bei der Entwicklung dieses Brennelementkonzepts und damit auch die maßgeblichen Gesichtspunkte für die Aufgabenstellung unseres Loopversuchs sind folgende:

- a) Die chemische Wechselwirkung der Hüllrohre mit Brennstoff und Spaltprodukten im Brennstabinnern. Dies ist gleichwohl ein Problem des Natrium-Brüters. Da jedoch die Außenkorrosion im Helium höhere Temperaturen zuließe, stellt diese "Innenkorrosion" die echte obere Temperaturlimitierung dar;

- b) die Aufrauung der Hüllrohre und ihre Standfestigkeit gegenüber Erosionserscheinungen im Laufe der Einsatzzeit;
- c) das mechanische und thermohydraulische Zusammenwirken von Abstandshaltern und Brennstäben, was sicher auch entscheidend ist für die Stabilität des Brennelementes als Ganzes;
- d) die Funktionstüchtigkeit der Spaltgasventilation, d. h. die Durchgängigkeit der Aktivkohlefallen und des internen Kanülensystems im Brennelement;
- e) das mechanische Verhalten der Spaltgasübertrittsstelle und der Kolbenringdichtung am Brennelementkopf; und schließlich
- f) das externe Spaltgasventilationssystem und das dynamische Verhalten bei Laständerungen, Druck- und Temperaturwechseln infolge von Regelschwankungen, Abschaltungen, scrams etc. Dies führt zum Atmen der ventilierten Brennstäbe und als Folge davon zu einer erhöhten Diffusivität der Spaltprodukte im Brennelement.

Bei den vorgegebenen Abmessungen der In-Pile-Strecke des Loops ist ein Bündel von 12 Brennstäben unterzubringen. Der thermische Neutronenfluß wird durch Cadmium abgeschirmt; die Spaltungen sind überwiegend epithermisch. Die Selbstabschirmung der Brennstäbe wird damit auf praktikable Werte herabgedrückt. Die Schädigungsdosis des Stahles, z. B. ausgedrückt in "displacements per atom" ist aber trotzdem noch zu niedrig, um eine Aussage zum Schwellverhalten zu bekommen. Auch bezüglich der Stöchiometrieverschiebung im Brennstoff sind die Bedingungen nicht vollkommen äquivalent.

Unser Entwicklungsvorhaben umfaßt zwei Bestrahlungsversuche im umgebauten Loop: einen Kurzzeittest über einen oder mehrere Reaktorzyklen und einen Langzeittest. Man kann den Kurzzeittest als einen Pilot-Versuch für den Langzeittest ansehen, der den Charakter eines performancetests hat. Der Langzeittest soll zu einem Abbrandziel von 60.000 MWd/tSM führen mit einer evtl. Verlängerung auf 100.000 MWd/tSM.

Das nächste Dia (Abb. 2) gibt einen Vergleich der Betriebsdaten des Loops mit den Betriebsdaten des GSB-1000. Wie die Aufstellung zeigt, können weitgehend repräsentative Bedingungen eingehalten werden mit Ausnahme des Systemdrucks. Dies ist jedoch wegen des vollständigen Druckausgleichs in den ventilierten Brennstäben ohne wesentliche Bedeutung. Transiente Bedingungen - die, wie ich schon sagte, verantwortlich sind für das Atmen der Brennstäbe - ergeben sich zwangsläufig aus dem Reaktorbetrieb. Spezielle Fahrprogramme sollen in Anlehnung an das GSB-Konzept noch ausdiskutiert werden. Sie werden jedoch frühestens dann eingeschoben, wenn das stationäre Betriebsverhalten hinreichend ausgetestet ist. Sie sehen jedoch hieraus, daß der Arbeit am Loop und der Betriebsauswertung während des Versuchs mehr Bedeutung zukommt als dies bei Versuchen dieser Art sonst üblich ist.

Lassen Sie mich bitte in meinen weiteren Ausführungen unseren technischen background erläutern. Unser experimentelles Vorhaben steht auf drei wesentlichen Stützen:

1. Den Erfahrungen von Siemens und CEN beim Bau und Betrieb des früheren CO<sub>2</sub>-Loops im BR-2 und den Erfahrungen der KFA bei Bestrahlungsversuchen mit Spaltgasspülung. Das CO<sub>2</sub>-Loop ist von Anfang 64 bis Anfang 69 störungsfrei gelaufen für die Entwicklung der Brennelemente des CO<sub>2</sub>-gekühlten Reaktors Niederachbach.
2. Bei der Entwicklung und Herstellung der Testbrennelemente werden wir uns auf die Kenntnisse und Erfahrungen der SNR-Entwicklung abstützen. Das heißt insbesondere, daß Werkstoffauswahl und Herstellungsspezifikationen dem Stand bei den SNR-Brennstäben entsprechen sollen. Die beratende Mitwirkung der GfK im Projekt-Ausschuß ist im Vertrag Siemens-KFA festgelegt.

Ferner hat sich GfK bereiterklärt, einen sogenannten Kalibrierversuch mit einem elektrisch beheizten Brennstab-Bündel durchzuführen. Diese experimentelle Unterstützung auf wärmetechnischem Gebiet ist für unser Vorhaben besonders wichtig.

3. Die dritte Stütze unseres Versuchsvorhabens ist die Kooperation mit GGA, San Diego. GGA führt seit längerem ein Gasbrüterbezogenes Bestrahlungsprogramm durch. Mein nächstes Dia (Abb. 3) gibt einen Überblick über die Versuche mit ventilierten Brennstäben. Die Versuchsserie GB 9 + GB 10 .... wird im ORR im thermischen Fluß durchgeführt; diese Versuche liefern insbesondere (GB 10) Details über die Spaltprodukt-Beweglichkeit im ventilierten Brennstab. Bei der Serie F 1, F 3 handelt es sich um die Bestrahlung von Einzelbrennstäben im EBR II, d. h. also im schnellen Fluß. Die Spaltgasventilation erfolgt bei den ersten Versuchen noch in ein Plenum, soll jedoch später auch nach außen erfolgen. In der Versuchsserie F 4 .... sollen mehrere 19-Stabbündel ebenfalls im EBR II - allerdings im Natrium - bestrahlt werden.

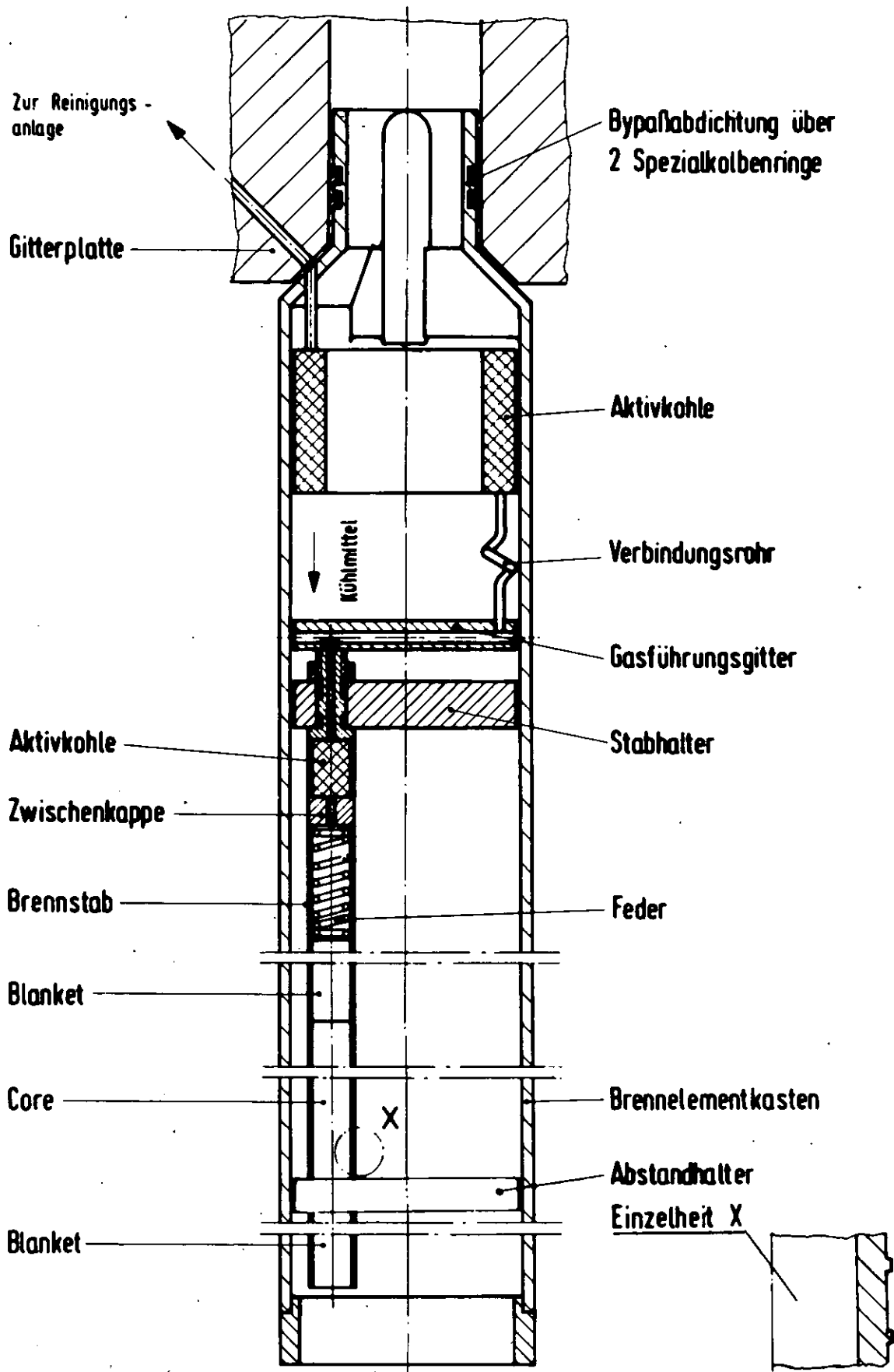
Eine vierte Versuchsserie umfaßt Transiententests. Diese zuletzt genannten Versuchsserien liegen zeitlich nach der Einfrierung der Brennstabdaten für unser Loopexperiment.

Die Ergebnisse von GB 9 zeigen (Abb. 4), daß der Spaltgastransport weitgehend den theoretischen Voraussagen entspricht. Eines der theoretischen Ergebnisse ist auch dies, daß der Spaltgasaustritt mit der Länge der Diffusionswege wesentlich kleiner wird. Die leicht flüchtigen Spaltprodukte (Abb. 5), d. h. Jod, Cäsium und Tellur, zeigten eine Anreicherung am Übergang Brennstoff-Blanket. Die Aktivkohlefaller war indessen frei von Cs und J. Der Strömungswiderstand des oberen Blankets und der Aktivkohlefaller blieb praktisch unverändert; auch die Brennstoffzone ließ noch einen zufriedenstellenden Gasstrom zu. Der maximale Angriff des Cäsiums auf die Hüllrohre erfolgte bei 600-650°C und war sowohl bei höherer als auch niedrigerer Temperatur schwächer. Zwischenvermessungen an mehreren Stäben der F1-Versuchsserie haben die GB 9-Ergebnisse über den Spaltprodukt-Transport bestätigt.

Beim Experiment GB 10 (Abb. 6) können durch ein System von Ventilen und Spülgasleitungen die aktive Brennstoffzone, das Blanket und die Aktivkohlefalle separat durchspült und untersucht werden. Das Experiment läuft seit August 72.

Meine Herren, ich hoffe, Sie haben aus diesen Darlegungen entnommen, daß unser Experiment auf guten Fundamenten steht.





Brennelement des GSB

	Loop, Mol	GCFR, 1000 MW
Helium pressure	60 ata	90 – 120 ata
Max. helium outlet temp.	580 °C	580 °C
Clad surface temp.	700 °C	685 °C
Max. lin. heat rating	500 W/cm	500 W/cm
Rod outer diameter	8.0 mm	8.2 mm
Number of rods	12	270
Max. burnup	60 000 – 100 000 MWd/to	100 000 MWd/to
Roughening	transverse ribs	same
Fuel	UO <sub>2</sub> /PUO <sub>2</sub>	same
Cladding material	1.4981	same

**Comparison between test conditions (Mol, BR 2)  
and typical GCFR environment**

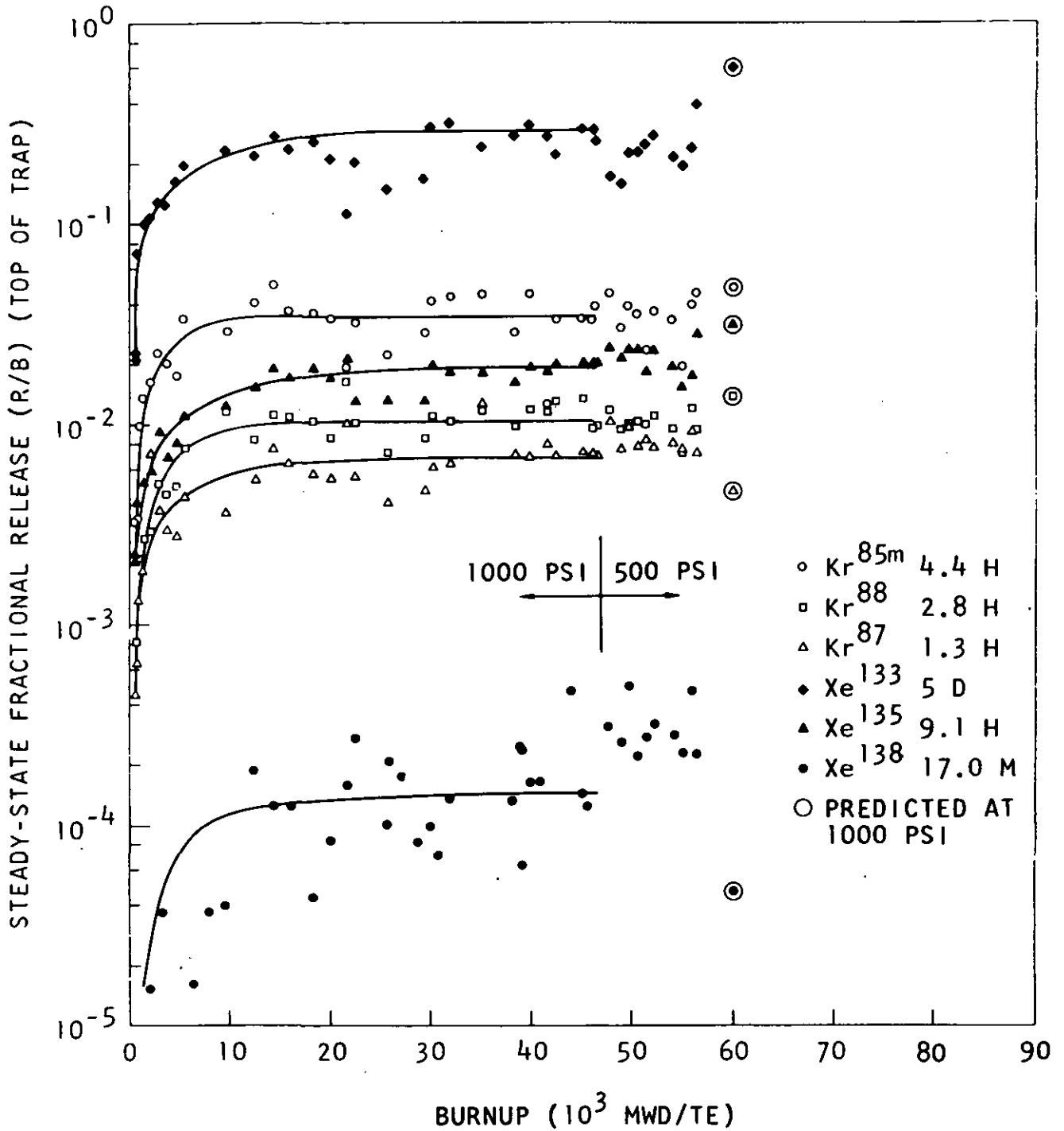
Abb. 2

SIEMENS

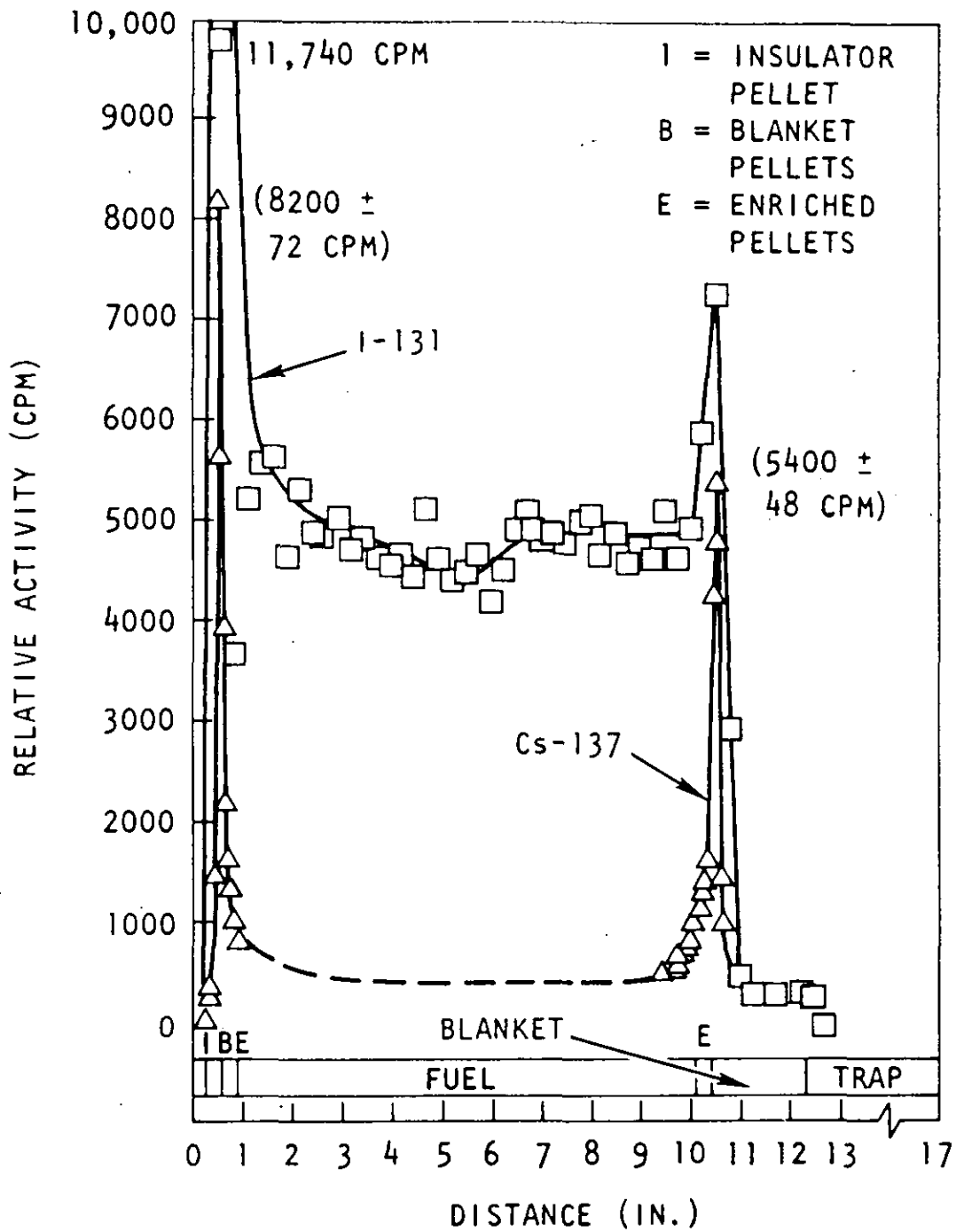
Designation	Reactor flux	rating surf. temp. burn-up	Objectives
GB 9	ORR	530 W/cm	Fission product transport mechanisms at steady state and cyclic conditions
GB 10	thermal	700 °C 55-75 $\frac{\text{GWd}}{\text{t}}$	Simulation of leaking fuel rod. Operational effects.
F 1	EBR II	500 W/cm	Investigation of variables (temp., burn-up, smear density, alternate types of fuel).
F 3	fast	600-800 °C 25-100 $\frac{\text{GWd}}{\text{t}}$	Investigation of trap performance. Compare fast flux irradiations to thermal irradiations.

**GCFR Irradiation Program on Single Fuel Rods by GGA**

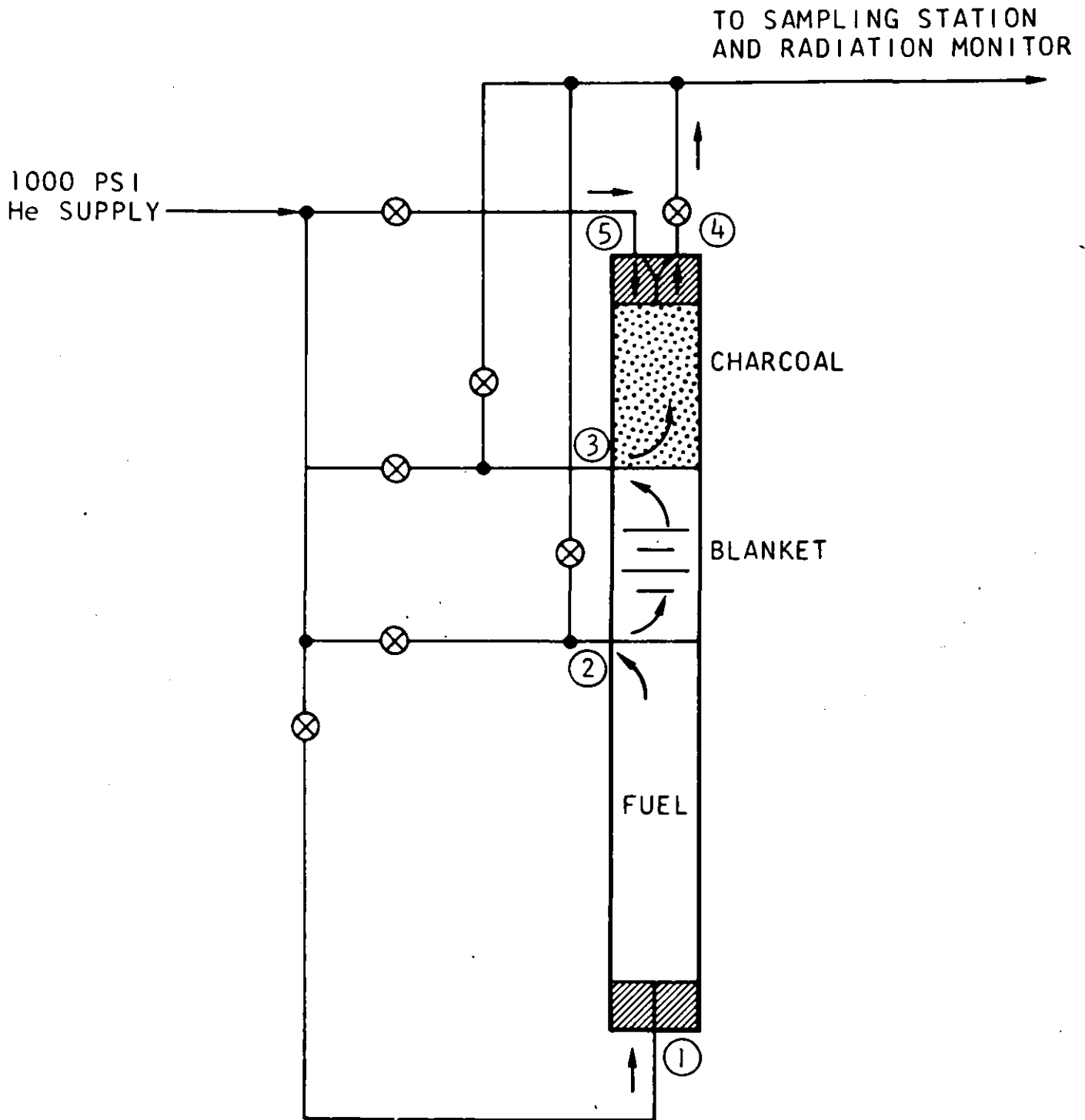
Abb. 3



CAPSULE GB-9 MEASURED FISSION PRODUCT GAS RELEASE FROM THE VENTED FUEL ROD AS A FUNCTION OF BURNUP



Axial profile of  $^{131}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  activity in GCFR thermal irradiation GB-9.



He SWEEP- AND MONITORING- LINE ARRANGEMENTS FOR CAPSULE GB-10

#### 4. STELLUNG DES VORHABENS IM RAHMEN DER NEA

Dr. S. Krawczynski, KFA-IRW

Unter der Federführung der OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY (NEA) wurde im Jahre 1969 eine "Co-Operating Group on GCFR-Development" ins Leben gerufen. An dieser Co-Ordinating Group partizipieren folgende Staaten: Österreich, Belgien, die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, die Niederlande, Schweden, die Schweiz, England und Japan als assoziierter Partner.

Ferner partizipieren an dem GCFR-Programm die NEA, die das Sekretariat und den Coordinator stellt, und die sogenannte GBR-Assoziation.

Ordentliche Mitglieder in der sogenannten GBR-Assoziation sind:

seitens Belgien:	Fa. Belgonucleaire S.A. und das Centre d'Etude de l'Energie Nucleaire,
seitens der BRD:	Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH (HRB) (und es war bislang die Fa. Siemens AG Mitglied, sie hat jedoch den Verlängerungsvertrag noch nicht unterzeichnet),
seitens Italien:	Progettazioni Meccaniche Nucleare S.p.a.,
seitens der Niederlande:	N.V. Neratoom,
seitens Schweden:	AB ASEA-Atom
seitens der Schweiz:	Brown Boveri-Sulzer Turbomaschinen AG,
seitens England:	The Nuclear Power Group Ltd.

Als assoziierte Mitglieder in der GBR-Assoziation (Stand 1.11.72):

aus der BRD:	Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG,
aus Schweden:	Atomkraftkonsortiet Krangede AB and Co., Statens Vattenfallverk,
aus England:	Central Electricity Generating Board, South of Scotland Electricity Board.

Ich selbst würde es sehr begrüßen - und ich weiß, daß mein Wunsch von Vielen in den anderen NEA-Mitgliedsländern geteilt wird - wenn man einen einfachen Weg finden würde, eine Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zwischen der NEA-GCFR-Co-Ordinating Group und den Vereinigten Staaten von Amerika zustandezubringen. Wie bekannt ist, besteht bereits eine enge Zusammenarbeit in der BRD zwischen der KFA, der Fa. Siemens AG und der GGA (USA) auf dem Gebiet des GSB.

Die Zielsetzung des NEA-GCFR-Programms ist die Untersuchung und Demonstration, daß GCFR-Systeme technisch vernünftig realisierbar sind. Zu dieser Zielsetzung gehört die Erarbeitung des technischen Backgrounds und der technischen Unterlagen, die die Assoziation zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in die Lage versetzen sollen, die Entwicklungslinien, die zum Bau technischer Reaktor-Großanlagen führen sollen, zu präzisieren. In diesen Untersuchungen soll der Frage der Sicherheit der betrachteten Reaktorsysteme besondere Bedeutung beigemessen werden. Dabei hat man sich innerhalb der Assoziation geeinigt, folgenden zwei Reaktorkonzepten besonderes Augenmerk zu widmen, und zwar:

1. dem GCFR mit He-Kühlung und Brennelementstäben, (dem sog. "pin design"),
2. dem GCFR mit "beschichteten Brennstoffteilchen", (dem sog. "particle design").

Die NEA hat von den Mitgliedsländern den Auftrag erhalten, innerhalb der gemeinsam approbierten Zielsetzung auch die nationalen Programme der Mitgliedsländer zu "streamlinen", zu adaptieren und zu koordinieren derart, daß das Ziel möglichst schnell mit einem Minimum an Aufwand erreicht wird. Man geht dabei von der Voraussetzung aus, daß die Kenntnisse und Erfahrungen aus den AGR-, HTR- und LMFBR-Programmen, die in den Mitgliedsstaaten vorhanden sind, voll in das GCFR-Programm einfließen werden.

#### Programmschwerpunkte im Rahmen des OECD-NEA-GCFR-Entwicklungsprogramms

(Da die Arbeiten in der BRD ausschließlich das sog. "pin design" zum Inhalt haben, sollen im Folgenden die Programmschwerpunkte nur hinsichtlich dieses Designs, wie sie von der NEA-GCFR-Co-Ordinating-Group gesehen werden, behandelt werden.)

Hinsichtlich des "pin"-Konzepts glaubt man auch in der NEA-Gruppe, daß die Variante mit ventilierten Brennstoffstäben am attraktivsten ist. Man hat darum dieser Variante die höchste Priorität gegeben. (Wie man sich erinnert, wurde die pin-Variante mit einem "strong cladding" z. B. in der BRD als Alternativvariante ernst diskutiert.) Bei dem in Betracht gezogenen pin-Konzept wird auch von der NEA-Gruppe Edelstahl als Hüllrohrmaterial und Mischoxide von U und Pu als Brennstoff vorgeschlagen. Diese Materialien gestatten, wie gefordert, eine volle Übernahme der LMFBR-Kenntnisse und Erfahrungen.

Arbeiten auf dem Gebiet der karbidischen Brennstoffe sowie der Entwicklung von anderen Hüllrohrmaterialien, wie Vanadium-Legierungen, wird von der NEA-Gruppe z. Z. noch kein hoher Prioritätsgrad gegeben. Trotzdem werden diese Aktivitäten begrüßt, gestatten sie doch, die Entwicklungsrichtung und das Entwicklungspotential dieses Reaktorkonzepts besser abzuschätzen.

Für die Beurteilung der "feasibility" des vented-fuel-pin-Konzepts sind nach Ansicht der NEA-Koordinationsgruppe folgende Arbeiten von höchster Bedeutung und Dringlichkeit:

1. Die "feasibility" des vented-fuel-pin-Konzepts kann nur durch einen experimentellen in-pile-Test an einem ventilierten Brennstabbündel erbracht werden. Diesem Test wird im Gesamt-GCFR-Programm die höchste Priorität eingeräumt. In diesem Test sollen ebenfalls Fragen der Spaltgasentnahme und des "trapping" untersucht werden.  
In Parallel- oder Nachfolgeexperimenten sollen sicherheitstechnische Aspekte dieses Konzeptes untersucht werden, besonders das Verhalten des Systems im "loss of coolant"-Fall. Die NEA-Koordinierungsgruppe hat es sehr begrüßt, daß diese Arbeiten in der BRD aufgenommen wurden und durchgeführt werden.

2. Die Arbeiten im Bereich der in-core-Strukturmaterialien müssen intensiviert werden. Man glaubt, daß das "swelling" des Materials im GCFR höher sein dürfte, als dieses für den LMFBR erwartet wird. Dazu kommt das Problem des zu erwartenden höheren Temperaturgradienten im Falle des GCFR.
3. Man gibt die Empfehlung, daß man dem Problem der in-pile-Korrosion mehr, als das bis jetzt der Fall zu sein scheint, Bedeutung beimessen sollte.
4. Nach Möglichkeit sollte man bei den geplanten Versuchen Abbrände von ca. 100.000 MWd/t anstreben, wobei die maximale Temperatur an den Hüllrohren möglichst bei 750°C oder sogar höher liegen sollte.
5. Es wird die Empfehlung ausgesprochen, daß hinsichtlich der Arbeiten auf dem Gebiet der Thermohydraulik zwischen den einzelnen Forschungszentren eine bessere Koordinierung vonnöten wäre.

#### Empfohlene Schwerpunktarbeiten im Bereich der Reaktor-Sicherheit und Komponentenentwicklung

Um wiederum an die Erfahrungen aus dem Bereich der thermischen gasgekühlten Reaktoren anzuknüpfen, sollen zunächst nur Zweikreisanlagen betrachtet werden.

1. Für den GCFR soll eine detaillierte Sicherheitsanalyse durchgeführt werden unter Berücksichtigung aller erdenklicher Unfallsituationen. Diese Analyse soll korreliert werden mit den vorhandenen Sicherheitsphilosophien und Richtlinien, wie sie für die LMFBR, HTR, AGR und LWR Anwendung finden.
2. Die NEA-Koordinierungsgruppe hält es für wünschenswert, daß bereits zu einem frühen Zeitpunkt die Sicherheitsrichtlinien für die GSB-Linien mit den zuständigen Sicherheitsbehörden und -institutionen besprochen und ausgearbeitet werden - mit der Hoffnung, mindestens für Europa einheitliche Leitlinien zu bekommen.  
Man nimmt mit Recht an, daß man im Verlauf dieser Analyse auf Fragenkomplexe stoßen wird, die evtl. weitere sicherheitstechnisch orientierte Entwicklungsprogramme zur Folge haben könnten.
3. Hinsichtlich der Sicherheit werden z. Z. nur Fragen des primären und sekundären "Containments" behandelt.  
(Zu erwähnen wären die Arbeiten auf dem Gebiet der Spannbetonbehälter in Schweden sowie geplante Arbeiten in Österreich.)

#### Referenzstudie für eine 1000-MWe-GSB-Kraftwerksanlage

Die NEA-Koordinationsgruppe begrüßt es, daß bereits zum jetzigen Zeitpunkt die Fa. Siemens einen Referenz-Entwurf für eine 1000-MWe-Anlage ausarbeitet.



### Programme und laufende Arbeiten bei den Partnern, die am OECD-NEA-GCFR-Programm partizipieren

Die Arbeiten in der BRD (GfK, KFA und Siemens) haben ausschließlich das GSB-pin-Konzept zum Inhalt. Dasselbe gilt für die Arbeiten, die in der Schweiz durchgeführt werden.

Die GCFR-Assoziation, Belgien und Schweden widmen beiden GSB-Konzepten, d. h. dem Pin- und dem Particle-Design, gleichgewichtige Aufmerksamkeit.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Spannbetonbehälter für GSB, die in Schweden und in Österreich geplant sind, nützen beiden Konzepten.

Die anderen Partner jedoch - soweit sie aktiv am GCFR-Programm beteiligt sind - besonders England, Frankreich und Österreich - arbeiten schwerpunktmäßig im Rahmen dieses Programms auf dem Gebiet des Particle-Konzepts.

Hinsichtlich der Arbeiten auf dem Gebiet des Pin-Konzepts kann gesagt werden, daß der Vorsprung, den dieses Konzept gegenüber dem Particle-Konzept bereits jetzt aufweist, von jenem kaum jemals aufgeholt werden kann.

Im Folgenden soll eine kurze enumerative Übersicht über die laufenden und geplanten F+E-Arbeiten auf dem Gebiet des GSB in der BRD gegeben werden, die jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

#### 1. Brennelement- und Brennstabentwicklung für das "vented-fuel-GSB-Konzept"

- 1.1 Entwicklung von Prototypbrennelementen mit ventilierten Brennstäben für einen GSB.  
KFA-Siemens.  
(Diese Arbeit wird federführend von der Siemens AG durchgeführt.)
- 1.2 Inpile-Demonstration der "feasibility" des unter 1.1 entwickelten GSB-vented-fuel-Brennelements im He-Loop im BR-2 Mol.  
KFA-Siemens (unter Mitwirkung des CEN-Mol und der GfK).  
(Federführung KFA.)
- 1.3 Die thermohydraulische out-of-pile-Testung des unter 1.1 genannten Brennstabbündels (Brennelements).  
Durchführung von Grundsatzstudien auf dem Gebiet der Thermohydraulik von Brennstabbündeln, auch mit aufgerauhten Hüllrohrroberflächen.  
GfK.

#### 2. Allgemeine Brennelement- und Brennstabentwicklung für den GSB

- 2.1 Die mechanische out-of-pile-Testung von Hüllrohrstählen, auch für den Temperaturbereich zwischen 750 und 800°C.  
GfK.
- 2.2 Korrosions- und Erosionstest von Hüll- und Strukturmaterialien in einer simulierten GSB-He-Atmosphäre.  
GfK.

- 2.3 Bestrahlung von Prototyp-Brennstäben im FR2-He-Loop.  
GfK.
- 2.4 "Trefoil"-Bestrahlung von Prototyp-GSB-Pins im DFR.  
GfK.
- 3. Entwicklung von Va-Legierungen als GSB-Hüllrohrmaterial
  - 3.1 Allgemeine Entwicklung des Materials.  
GfK.
  - 3.2 Untersuchung der mechanischen Eigenschaften dieses Materials.  
GfK.
  - 3.3 Beschleuniger-Bestrahlung (He-Blasenbildung).  
GfK.
- 4. Sicherheitsstudien für den GSB
  - 4.1 Sicherheitsstudie über den primären Dampfkreislauf einer 1000-MWe-GSB-Anlage unter Berücksichtigung der Sicherheitskriterien, die man bei der Sicherheitsanalyse von LWR, HTR und LMFBR gewonnen hat.  
GfK-Siemens.
  - 4.2 Grundsätzliche Arbeiten hinsichtlich der nuklearen Sicherheit von GSB-Kraftwerken (Entwicklung spezieller Transient-Codes für Unfall-Analysen usw.).  
GfK.
  - 4.3 Wirtschaftlichkeitsstudien von GSB-Anlagen.  
(Diese Programme müssen erst formuliert werden,  
Arbeiten sind geplant in der GfK, Siemens und der KFA.)

#### Arbeiten für das GSB-Pin-Konzept innerhalb der OECD-NEA-GCFR-Gruppe

subsummiert nach den beteiligten Ländern:

- Österreich: Konstruktion und Testung eines großen Spannbetonbehälter-Modells für GSB unter Anwendung neuartiger Isolations- und Fabrikationsmethoden.
- Frankreich: Allgemeine Sicherheitsstudien für GSB.  
(Anmerkung: Es ist dem Verfasser nicht bekannt, ob es sich um Studien allein für das Particle-Konzept oder auch um Studien für das GSB-Pin-Konzept handelt.)
- Schweden: Untersuchung hinsichtlich des Schwellens und der Duktilität von bestrahlten Hüllrohren aus Stahl.  
Bestrahlungen in 3-Pin-Kapseln im R-2 (die im Auftrag der KFA entwickelt wurden).  
Aerodynamische Grundlagenstudien an Brennstabbündelsystemen etc.  
Entwicklung von Spannbetonbehältern für GSB-Großanlagen. (Es handelt sich hierbei um ein sehr umfangreiches Entwicklungs- und Testprogramm.)

Schweiz: Multikanal-Wärmeübergangs-Codes,  
Messungen an Brennstäben mit aufgerauhter Hüllrohr-  
oberfläche,  
Untersuchung von Brennstab-Kanal-Blockage,  
Kritische Experimente im Reaktor Proteus,  
Sicherheitsstudien allgemeiner Art,  
Optimalisierung einer GSB-Zweikreisanordnung,  
Dynamische Studien einer GSB-Großanlage,  
Melt-down-Experimente,  
Entwicklung von GSB-Brennelementen (strong-cladding)  
mit karbidischem Mischbrennstoff.

GBR-Assoziation:  
Entwurfsstudie einer 1000 MWe-Großanlage,  
Sicherheitsstudien (in Zusammenarbeit mit einigen  
EVUs und EURATOM),  
"Performance"-Studien.

## 5. INPILE-STRECKE

K. Sachse, KFA-ZIR

### A) Aufgaben der IPS und allgemeine Beschreibung

Ich möchte Ihnen einen allgemeinen Überblick über die "In-Pile"-Strecke geben und in kurzer Form deren Hauptkomponenten umreißen. Vorweg sei bemerkt, daß die "in-pile"-Strecke (kurz IPS genannt) der Reaktoreinschub des Helium-Loops ist.

Sie sehen sie auf diesem Bild, Abb. 1, wie sie in ihrer vollen Länge von ca. 13 m im Reaktor eingebaut ist. Aufgenommen wird sie von einem 200 mm Randbestrahlungskanal des BR-2.

Dieser enthält das Treiberbrennelement zur Kompensation der Anti-reaktivität des Experimentes und gibt der IPS die äußere Wasserkühlung.

Die innere Kühlung erhält sie durch den Heliumstrom, der im Umlenkverfahren durch die IPS zirkuliert. Hierbei beträgt die Gas-temperatur am Eintritt ca. 300 und am Austritt ca. 500°C.

Die Aufgabe, die die IPS zu erfüllen hat, ist eine mehrfache: und zwar nimmt sie das Testbrennelement auf und fixiert es am Bestrahlungsort, sie bewirkt die Kühlung des Testbrennelementes und dient zur Ableitung der gasförmigen Spaltprodukte.

Um den betriebs- und sicherheitstechnischen Anforderungen zu genügen, ist die IPS mit einer Anhebevorrichtung ausgestattet. Diese hat den Zweck, das Testbrennelement aus der Core-Zone zu liften, damit dessen Nachwärmeentwicklung abklingen kann, bevor es entladen wird.

Von besonderer Bedeutung für die Sicherheit und den Betrieb ist der obere Verschuß. Er dichtet das innere und äußere Kühlmedium ab, und zwar so, daß zwischenzeitliche Treiberbrennelementwechsel bei unvermindertem Heliumstrom - d. h. bei voller Testbrennelementkühlung - durchführbar sind.

Das Testbrennelementstützrohr mit der Spaltgasübertrittsstelle zählt ebenfalls zu den Hauptbauteilen der IPS.

Es trägt die Spaltgasableitung sowie alle Überwachungsleitungen und ist samt dieser austauschbar.

Durch diese Eigenschaft lassen sich auch Testbrennelemente mit geringer Außenmaßveränderung in die IPS einsetzen, ohne daß ihr Einbauzustand verändert werden muß.

### B) Konstruktive Gestaltung

Die räumlichen Einbaugegebenheiten und die erforderlichen betriebstechnischen Operationen sowie die Versuchsanforderungen prägen den konstruktiven Aufbau der IPS.

So wurde sie aus Sicherheitsaspekten nach dem Doppelwandungsprinzip konzipiert, das sich bei der IPS des vorherigen CO<sub>2</sub>-Loops

schon bewährt hat.

Dieses Prinzip hat den Vorteil, daß das innere heiße Rohr durch gleiche äußere und innere Druckbeaufschlagung normalerweise unbeansprucht bleibt.

Einer kurzzeitigen Belastung wäre es nur dann ausgesetzt, wenn ein Störfall durch Leckage am Außenrohr eintreten würde.

Mit der Zwischenschaltung von Wellkompensatoren wird der IPS eine weitere Entlastung zuteil.

Diese Dehnglieder nehmen nämlich die aus unterschiedlichen Wandtemperaturen resultierende Längenänderung der beiden Rohrauf und verhindern die Entstehung axialer Dehnungsspannungen.

Die Anschlußstutzen für den Gas-Ein- und -Austritt sind seitlich am unteren IPS-Ende angeordnet, und die untere Stirnseite ist mittels Schraubflansch abgedichtet. Dieser Flansch trägt im oberen Bereich das Brennelementstützrohr, und sein Unterteil nimmt die lös- baren Durchführungsverschlüsse für alle nach außen führenden Meß- und Überwachungsleitungen auf.

Da an diesem Trennglied nach der Bestrahlung eine überhöhte Restaktivität aus der Rohraktivierung bestehen würde, ist in das Brennelementstützrohr ein unterer Abschirmstopfen eingebaut. Dieser verhindert eine zu hohe Restgammastrahlung, so daß später an den Durchführungsverbindungen ein gefahrloses Operieren möglich ist.

Die während des Versuches entstehende Gammastrahlung aus dem Testbrennelement wird nach oben durch den Stopfen über dem Brennelement und nach unten durch eine Bleiburg abgeschirmt.

Der obere IPS-Verschluß ist mit der Verlagerung der Anhebevorrichtung kombiniert. Das heißt er ist so konstruiert, daß sich der obere Kompensator einschließlich dessen Abstützung sowie die handbetätigte Kurbeleinrichtung unter Aufrechterhaltung des vollen Heliumstromes demontieren lassen, damit das Treiberbrennelement mit Hilfe der Entladeflasche erneuert werden kann.

Auch die im Verschlußkopf liegende Kurbeleinrichtung ist zum Herausziehen bzw. Einsetzen des Testbrennelementes demontierbar.

Für diese Vorgänge steht ein besonderes Entladesystem zur Verfügung, durch das a) die geöffnete IPS gegen Wasser abgedichtet und b) das bestrahlte Brennelement einschließlich Anhebevorrichtung zum Abtransport aufgenommen wird.

Einen wichtigen Punkt am oberen Verschluß bilden schließlich noch die Dichtelement-Kontrollanschlüsse.

Durch sie werden alle Dichtstellen kontinuierlich überwacht, und es lassen sich alle inneren Hohlräume separat evakuieren.

Die Konstruktion der Anhebevorrichtung ist nicht ganz so umfangreich. Sie besteht im wesentlichen aus einem Führungsrohr und einer Kugelumlaufspindel, an deren Mutter das Testbrennelement mit dem oberen Abschirmstopfen hängend verlagert ist.

Wird die Spindel gedreht, so bewegt sich die Mutter in axialer Richtung und es kommt auf diese Weise das Senken oder Heben des Brennelementes zustande.

Der Anhebevorrichtung ist auch ein Zählwerk zugeordnet, durch das sich die Höhenstellung des Testbrennelementes genau feststellen und regulieren läßt.

### C) Technische Auslegung

Was die technische Auslegung in Bezug auf die Materialbeanspruchung angeht, so berücksichtigt die Konstruktion 61 ata und 600°C für das heiße Innenrohr bzw. 67 ata und 100°C für das wassergekühlte Außenrohr.

Außerdem wird eine Strahlenbelastungsdosis von ca.  $3,75 \cdot 10^{21}$  schn. n/cm<sup>2</sup> in Ansatz gebracht, die sich aus der vorgesehenen Einsatzdauer von ca. 2 1/2 Jahren ergibt und ein gutes Warmsprödigkeitsverhalten des Materials erfordert.

Der zur Verwendung kommende Werkstoff 4948 ist in seiner Richtanalyse und in den übrigen Kennwerten dem in Amerika unter positiven Bestrahlungsergebnissen verwendeten AISI304 sehr ähnlich. Als Wandstärke für das innere Druckrohr sind im oberen Teil 2,5 mm und im unteren 5 mm vorgesehen. Die Wandung des Außenrohres ist jedoch 4,5 bzw. 7,5 mm stark.

Alle Strömungsquerschnitte für die Kühlmedien sowie für die Spaltgasableitung sind so bemessen, daß kein unzulässiger Druckverlust entsteht.

Die Außenkonturen der IPS sind dem lichten Kanalquerschnitt bzw. den Verankerungs- und Abdichtungselementen am reaktorseitigen Befestigungspunkt angepaßt.

Das bedeutet einen Durchmesser von 97 mm im Kanalbereich bzw. 179 mm unter der Kanalabstützung und eine Gesamtlänge von ca. 13 m.

### D) Überwachung

Zur Erhaltung des einwandfreien Zustandes hat sowohl der innere als auch der äußere IPS-Mantel Meßstellen, durch welche die Druckverhältnisse laufend überwacht werden.

Es sind auch Kontrolleinrichtungen vorhanden, die über die Dichtigkeit und Temperaturen ständigen Aufschluß geben.

### E) Stand der Bearbeitung

Zum Bearbeitungsstatus wäre zu erwähnen, daß für alle Hauptbauteile Prinzipentwürfe und Überschlagberechnungen sowie konstruktive Ausführungseinzelheiten vorliegen.

Das heißt, daß das Entwurfsstadium als abgeschlossen bezeichnet werden kann. Bereits in Arbeit befinden sich zwei Prüfeinrichtungen, die dazu dienen, die Dehnglieder bzw. die Dichtelemente für die Drehdurchführung der Anhebevorrichtung unter Originalbedingungen zu testen.

Was die Materialbeschaffung betrifft, so sind die Kompensatoren und die Kugelumlaufspindel für die Anhebevorrichtung in Auftrag gegeben.

Gewisse Schwierigkeiten bereitet allerdings die Besorgung der Rohre, da von den 11 angeschriebenen Firmen nicht weniger als 7 negative Beantwortungen und 2 ungeeignete Angebote eingingen. Die beiden restlichen Firmen stellten ihre Offerte zwar in Aussicht, lassen aber trotz zwischenzeitlicher Rückfrage noch immer auf sich warten.

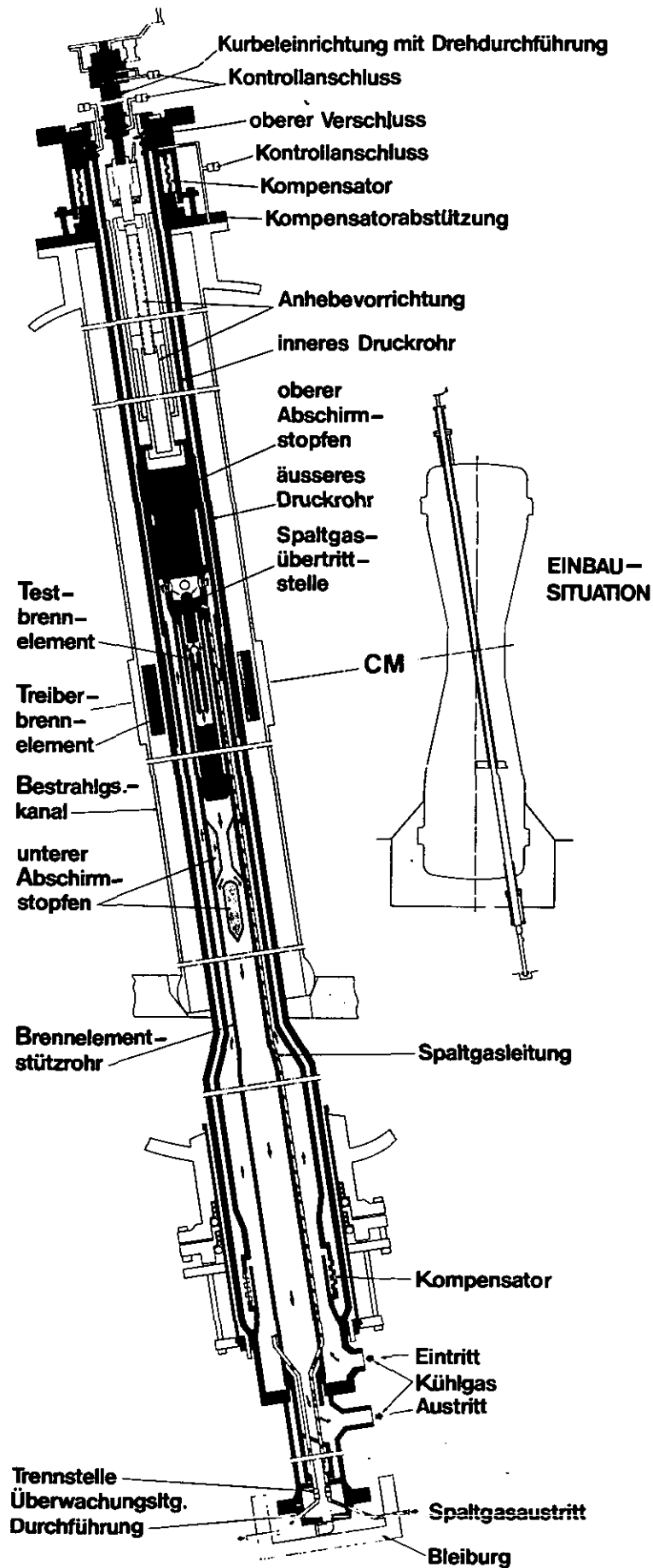


Abb. 1



## 6. TESTBRENNNELEMENT

W. Jung, Siemens AG

Ziel des Vorhabens ist ein "performance test" des von Siemens für den 1000 MWe-GSB konzipierten Brennelementtyps. Dazu sollen möglichst originalgetreue Testbrennelemente unter möglichst originalgetreuen Betriebsbedingungen - auch hinsichtlich des Druckausgleichs- und Spaltproduktventilationssystems - bestrahlt werden.

Das Testbrennelement ist in Bild 1 vereinfacht dargestellt. Anzahl und Länge der Brennstäbe sind den beschränkten Platzverhältnissen der Teststrecke entsprechend reduziert; alle wesentlichen Konstruktionsmerkmale des GSB-Konzeptes sind jedoch verwirklicht.

Der Brennstab enthält eine Spaltzone, oben und unten angrenzende Brutzonen sowie eine Aktivkohle-Falle am oberen Ende. Das Hüllrohr ist über die Länge der Spaltzone außen "aufgerauht", d. h. mit Umfangsrippen zur Verbesserung des Wärmeübergangs versehen.

Der Brennstoff ist  $\text{UO}_2/\text{PuO}_2$  in Tablettenform mit 15% Pu/(U+Pu)-Gehalt. Die Schmierdichte wird 80 bis 85% th.D. betragen, die Stöchiometrie im Bereich  $1,95 \leq \text{O/M} \leq 1,98$  liegen. Als Hüllwerkstoff ist der Nb-stabilisierte 16/16-Stahl W.Nr. 4981 vorgesehen. Brennstoff- und Hüllrohrspezifikationen stützen sich weitgehend auf den in der SNR-Entwicklung erarbeiteten Kenntnisstand.

Die Brennstäbe sind im Dreieckgitter angeordnet und von einem Leitrohr umgeben. Das Innenprofil des Leitrohres ist so gewählt, daß auch die Außenstäbe gleichmäßig gekühlt werden. Die axiale Fixierung der Brennstäbe erfolgt durch einen Stabhalter am oberen Ende, die parallele Ausrichtung durch vier im Leitrohr befestigte Abstandshalter, wobei zwischen den drei Noppen der Abstandshaltermasche und dem Stab ein definiertes Spiel eingestellt ist. Das Leitrohr wird konstruktiv so ausgeführt, daß zur Inspektion und Vermessung nach der Bestrahlung das Stabbündel mit Stabhalter und Abstandshaltern unversehrt freigelegt werden kann.

Die Öffnungen der Brennstäbe in den oberen Endkappen werden durch ein Gasführungsgitter zusammengeführt und über eine zweite Aktivkohle-Falle an die Spaltgas-Austrittsöffnung im Kopf des Brennelementes angeschlossen.

Die Teststrecke ist durch einen Cd-Mantel abgeschirmt, d. h. die Bestrahlung erfolgt in einem epithermischen Neutronenspektrum. Die spektrale Verteilung der Spaltrate wird in Bild 2 mit der eines GSB verglichen; demnach werden im Experiment rund ein Viertel aller Spaltungen durch schnelle Neutronen ( $\geq 0,1$  MeV) ausgelöst, im GSB fast 100%.

Die angestrebte Stableistung von 500 W/cm (axiales Maximum, Mittelwert der zwölf Brennstäbe) erfordert ca. 90%  $\text{U}^{235}/\text{U}$ -Anreicherung, d. h. der Brennstoff des Testbrennelementes enthält - im Unterschied zum GSB - zu jedem spaltbaren Pu-Kern noch etwa sechs

spaltbare U-Kerne. Demnach wird der schnelle Fluß ( $\geq 0,1$  MeV) im Experiment grob abgeschätzt 3,5% des entsprechenden GSB-Wertes betragen, so daß mit typischen Effekten hoher schneller Fluenzen (Stahlschwellen) hier nicht zu rechnen ist.

Bei vorgegebenen Werten der maximalen Stabileistung und der maximalen Staboberflächentemperatur sind die Gastemperaturen am Ein- und Austritt des Testbrennelementes als Funktionen des Gasdurchsatzes festgelegt, d. h. es ist dann nur noch eine dieser drei Größen frei wählbar. Die Zusammenhänge sind in Bild 3 dargestellt. Berücksichtigt man die höchstzulässige Gastemperatur von  $600^{\circ}\text{C}$  im Kreislauf und nimmt als praktische untere Grenze für die Gastemperatur  $100^{\circ}\text{C}$  an, dann ist der Auslegungsfall -  $700^{\circ}\text{C}$  maximale Staboberflächentemperatur bei  $500\text{ W/cm}$  maximaler Stabileistung (durchgezogene Kurven) - mit He-Durchsätzen von ca.  $10 \div 20\text{ g/s}$  pro Brennstab zu realisieren. Geht man z. B. von  $300^{\circ}\text{C}$  Eintrittstemperatur aus, dann folgen daraus  $16,7\text{ g/s}$  Durchsatz pro Brennstab und  $590^{\circ}\text{C}$  Austrittstemperatur. Für diesen Fall zeigt Bild 4 den axialen Leistungs- und Temperaturverlauf unter der Annahme einer cosinusförmigen Flußverteilung, symmetrisch zur Spaltzone des Testbrennelementes.

Alle genannten Zahlenwerte haben vorläufigen Charakter, da die Kenntnis der Leistungsverteilung im Testbrennelement und des Wärmeübergangs an den aufgerauhten Staboberflächen noch mit Unsicherheiten behaftet ist. Hier müssen die Ergebnisse der neutronenphysikalischen Untersuchungen (BR-02-Experiment) und des Kalibrierversuches mit einem elektrisch beheizten Modell-Testbrennelement abgewartet werden.

Eine exakte Vorausberechnung der maximalen Stabileistung, die sich im Experiment einstellen wird, ist zur Zeit nicht möglich. Auch ist nicht auszuschließen, daß bei Beginn der Bestrahlungen - Ende 1974 - aufgrund der dann vorliegenden Kenntnisse andere Nominalwerte der maximalen Staboberflächentemperatur von Interesse sein werden.

Aus diesen Gründen ist es notwendig, bei der thermodynamischen Auslegung von Testbrennelement und Kreislauf einen möglichst weiten Bereich benachbarter Betriebszustände mit zu berücksichtigen. Kritisch sind dabei die Fälle hoher Staboberflächentemperatur bei niedriger Stabileistung sowie niedriger Staboberflächentemperatur bei hoher Stabileistung. Wie Bild 3 (unterbrochene Kurven) zeigt, sind die extremen Fälle  $750^{\circ}\text{C}$  bei  $400\text{ W/cm}$  sowie  $600^{\circ}\text{C}$  bei  $600\text{ W/cm}$  vom Testbrennelement her realisierbar, sofern der Kreislauf in der Lage ist, bei den entsprechenden Gasdurchsätzen und -temperaturen die Leistungen abzuführen.

Die Integration des Testbrennelementes (BE) in die Inpile-Strecke (IPS) des Kreislaufs ist in Bild 5 schematisch dargestellt. Der BE-Kopf ist durch Kolbenringe gegen das IPS-Trennrohr abgedichtet, so daß das gesamte Kühlgas durch das Innere des BE-Leitrohres strömt und der Ringspalt zwischen Leitrohr und Trennrohr sich auf dem Druckniveau des BE-Austritts befindet. Unterhalb der Kolbenringe, in einem von drei Füßen, mit denen sich das BE in einer konischen Stufe des Trennrohres abstützt, liegt die Spaltgas-Überttrittsstelle, d. h. die Verbindung der Spaltgas-Austrittsöffnung des BE mit der Ansaugöffnung der Ventilationsleitung zum Spaltgas-

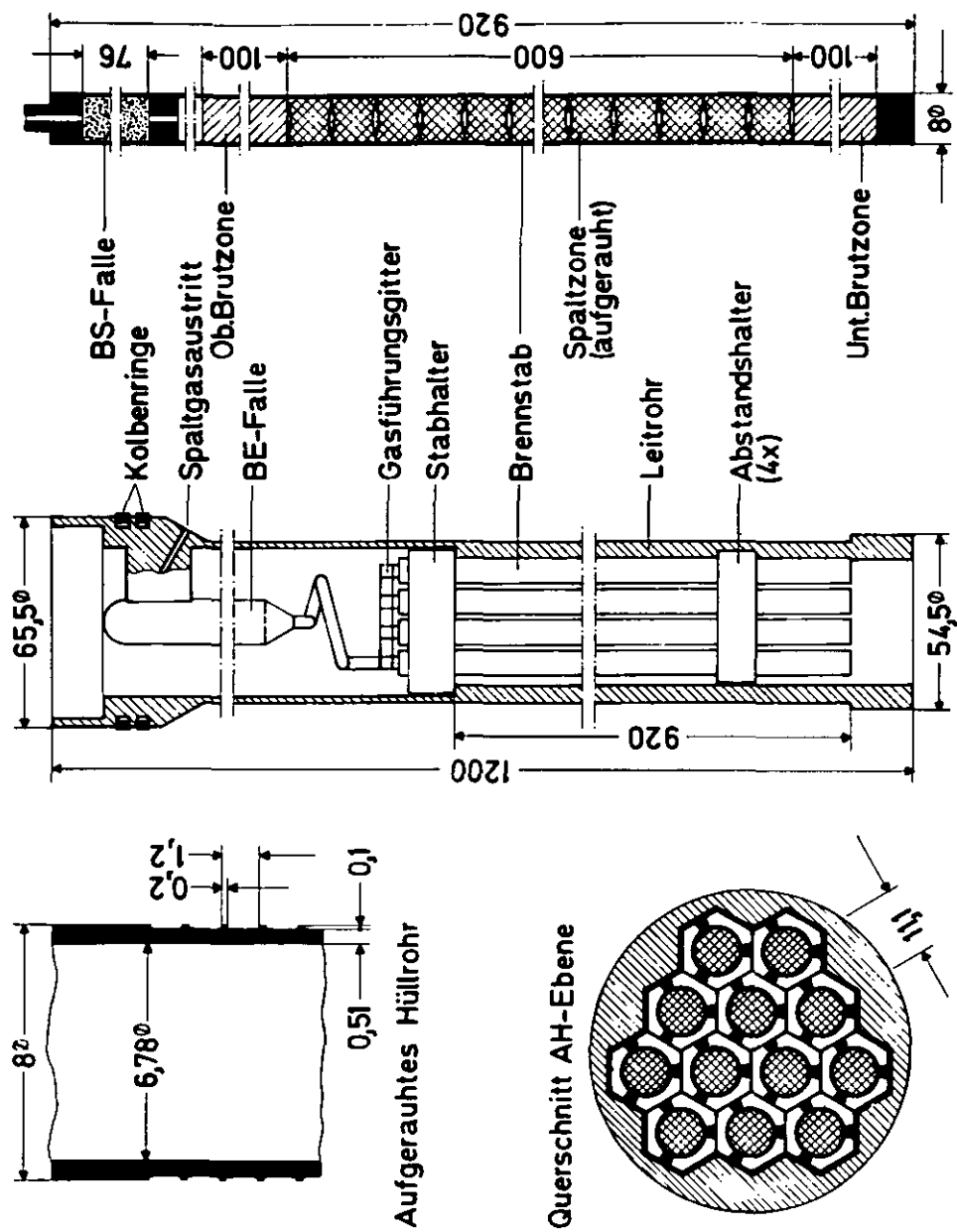
abscheider (SPAGS). Diese Verbindung ist mit einem definierten Solleck versehen, so daß einmal eine Spülströmung durch den SPAGS erzeugt und zum anderen der Druck in der Übertrittsstelle - und damit im Innern der Brennstäbe - auf einem Niveau zwischen BE-Austritt und Gebläseeintritt gehalten wird.

Hydrodynamisch stellt das Ventilationssystem einen Stern aus drei Strömungswegen (s. Bild 6) dar, die sich in der Übertrittsstelle vereinigen und deren anderen Enden die Drücke durch den Betriebszustand des Hauptkreislaufs vorgegeben sind. Von diesen drei Wegen tritt der durch das Innere des BE nur im Fall eines Hüllendefektes in Erscheinung. Mit zunehmender Defektgröße steigen Leck- und SPAGS-Durchsatz sowie der Druck in der Spaltgasübertrittsstelle, während der Solleck-Durchsatz zurückgeht (s. Bild 7). Bei hinreichend großer Leckrate des defekten BE würden Solleck-Druckverlust und -Durchsatz ihre Richtung umkehren, d. h. es würden dann aktive Spaltgase aus dem BE durch das Solleck in den Hauptkreislauf eingespült werden, womit das Ventilationssystem funktionsunfähig wäre. Diese Gefahr ist auszuschließen durch geeignete Abstimmung der Strömungswiderstände des SPAGS und des Leitungssystems im BE-Kopf; letzterer verbleibt als Restwiderstand für den Fall, daß sämtliche Brennstäbe Groblecks nahe den oberen Stabenden aufweisen sollten.

Für das Testbrennelement wurde ein Konstruktionsentwurf erarbeitet, der als Grundlage der inzwischen begonnenen Entwicklungsarbeiten dient. Für Brennstoff und Hüllmaterial wurden Spezifikationen erstellt. Zur Thermodynamik und zum Ventilationssystem wurden Auslegungsrechnungen durchgeführt.

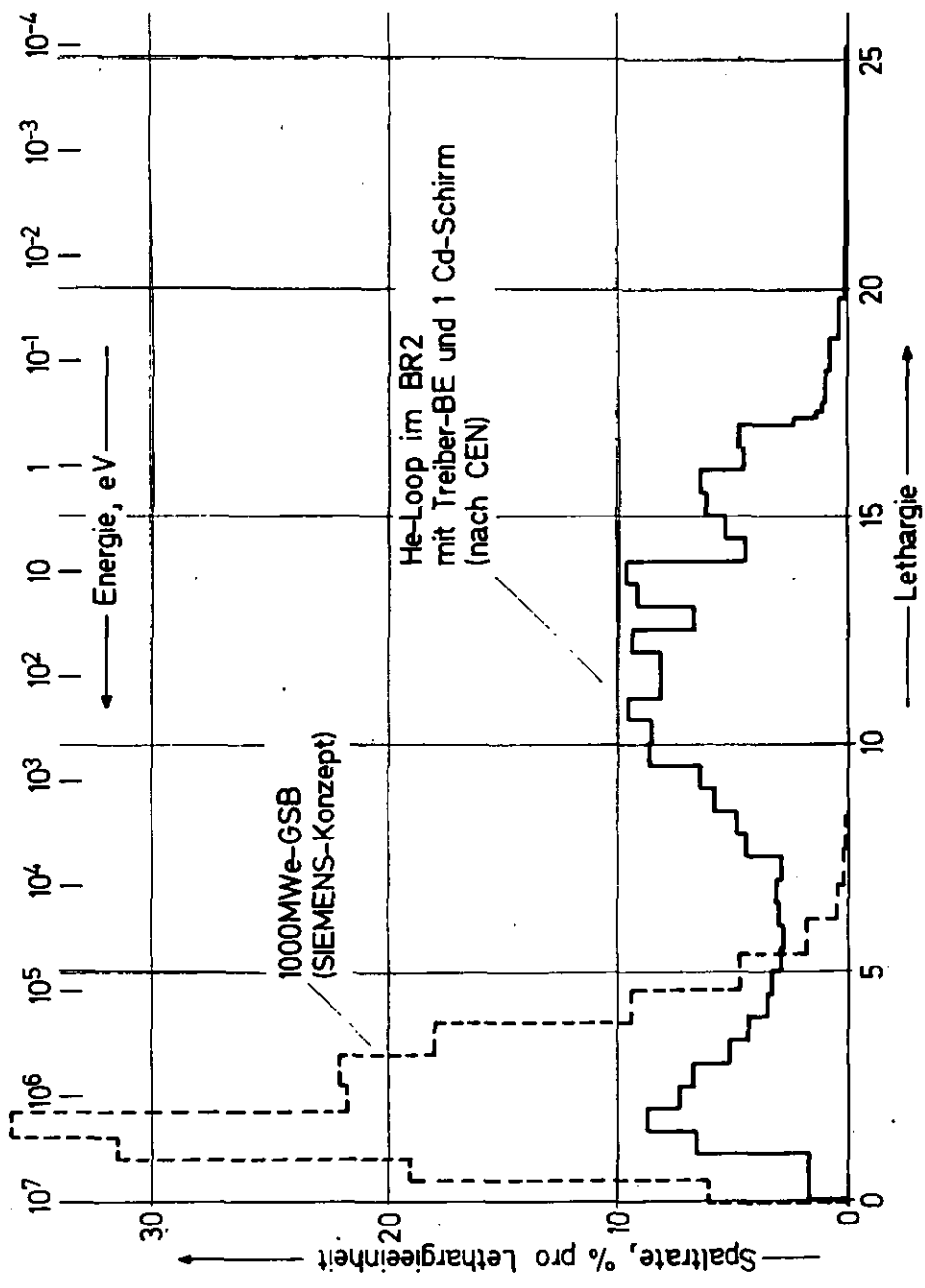
Bild 1

SIEMENS



GSB-BE-Bestrahlung Mol  
Testbrennelement (vereinfacht)

RT 33  
1973



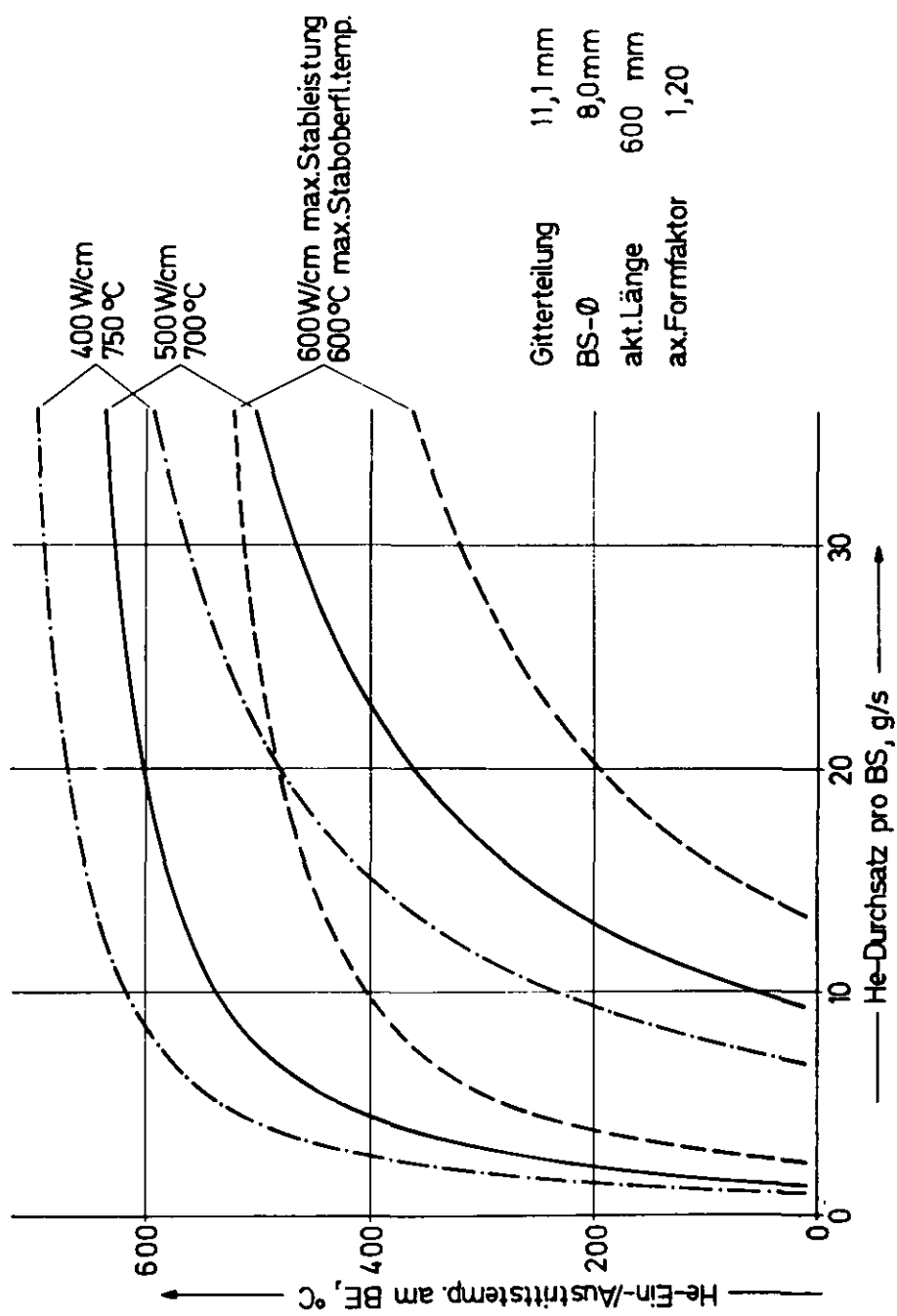
GSB-BE-Bestrahlung Mol  
Spektrale Spalttratenverteilung

R133  
1973

Bild 2

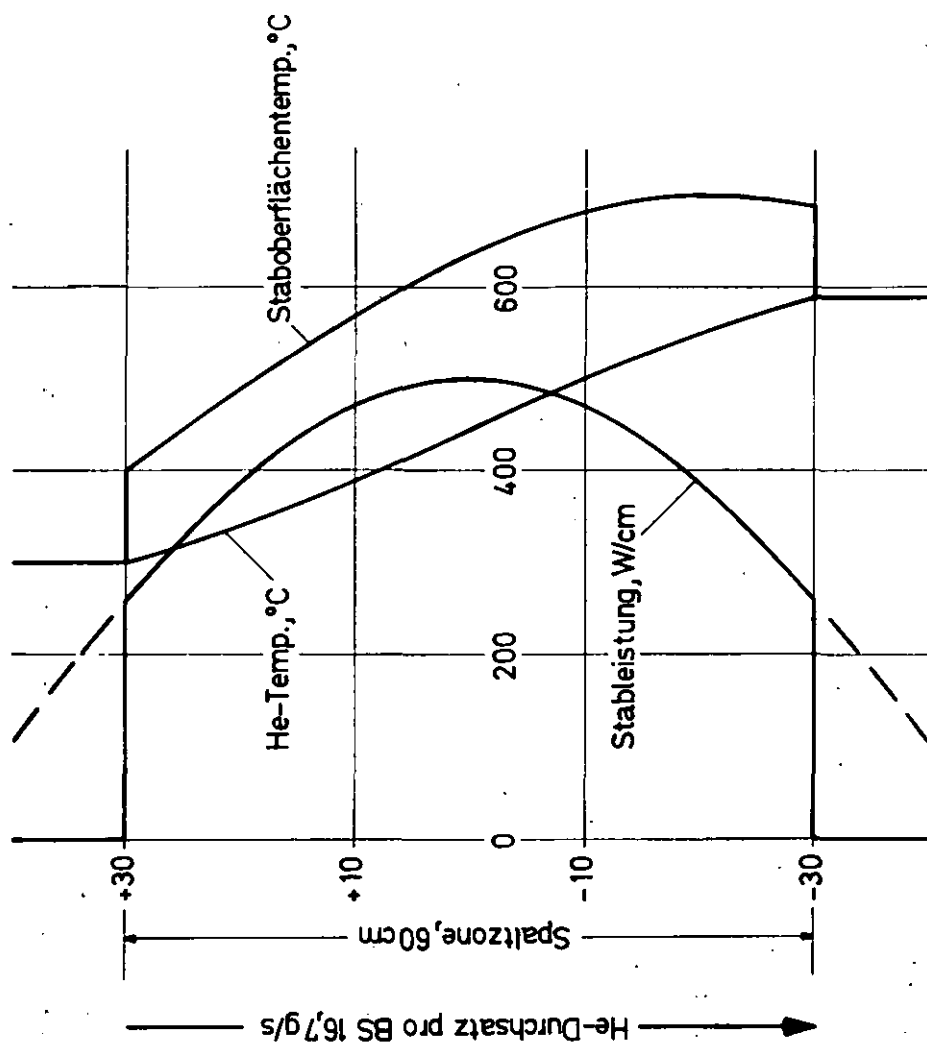
Bild 3

SIEMENS



GSB-BE-Bestrahlung Mol  
Thermodynamik des Test-BE

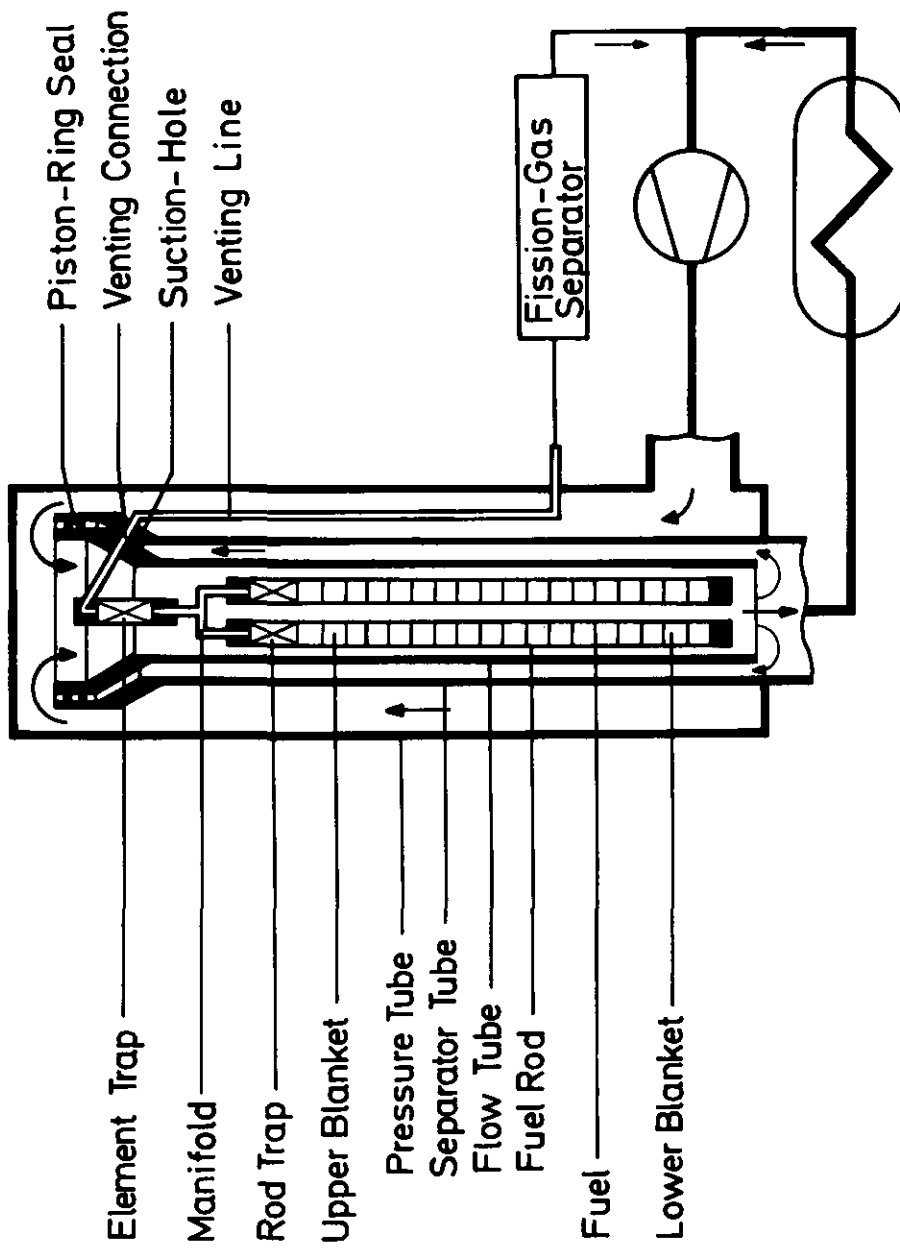
RT 33  
1973



GSB-BE-Bestrahlung Mol  
Axiale Leistungs- und Temperaturverteilung

RT 33  
1973

SIEMENS



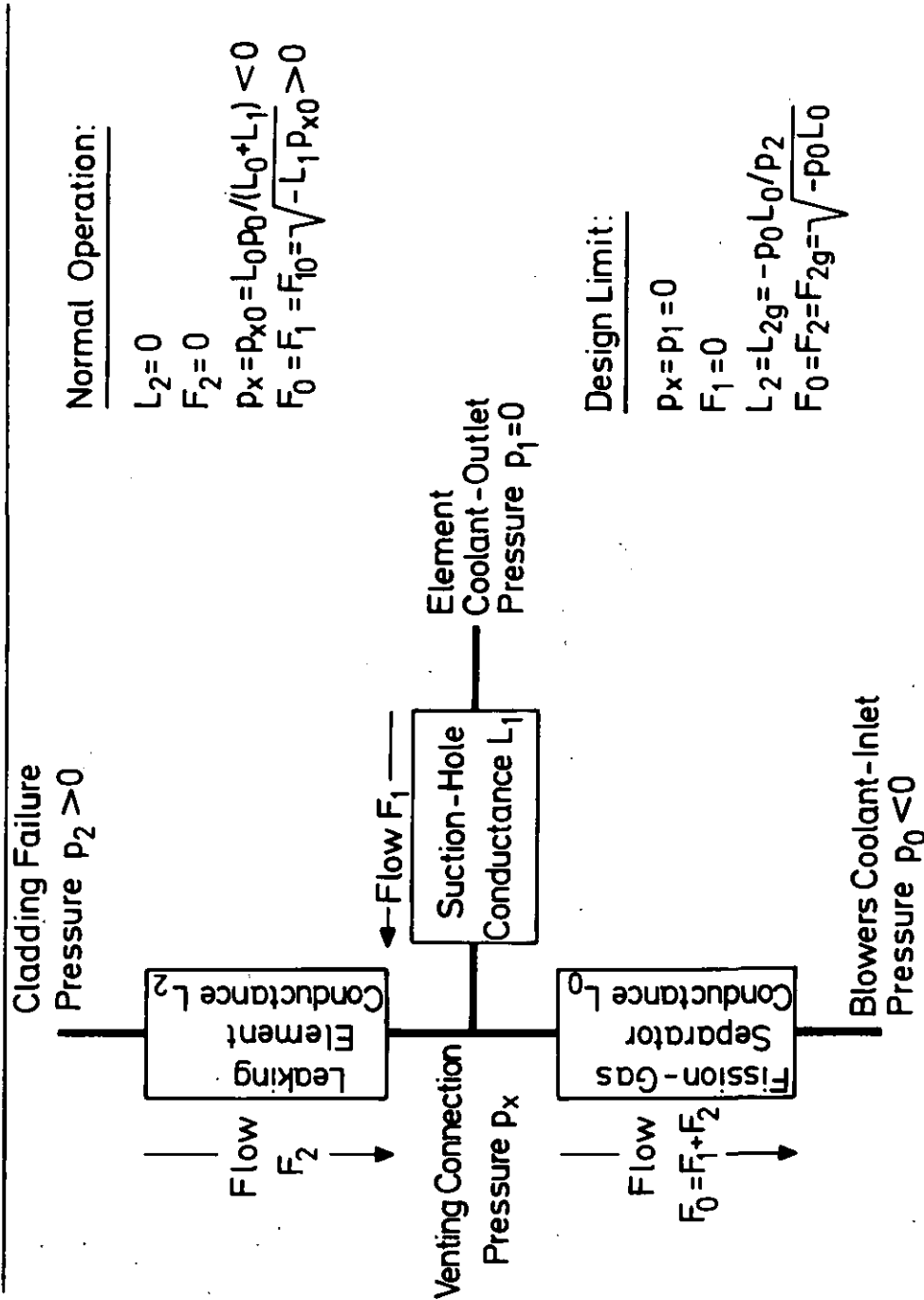
Venting System BR2-Helium-Loop Mol  
(schematic)

RT 33  
1972



Bild 6

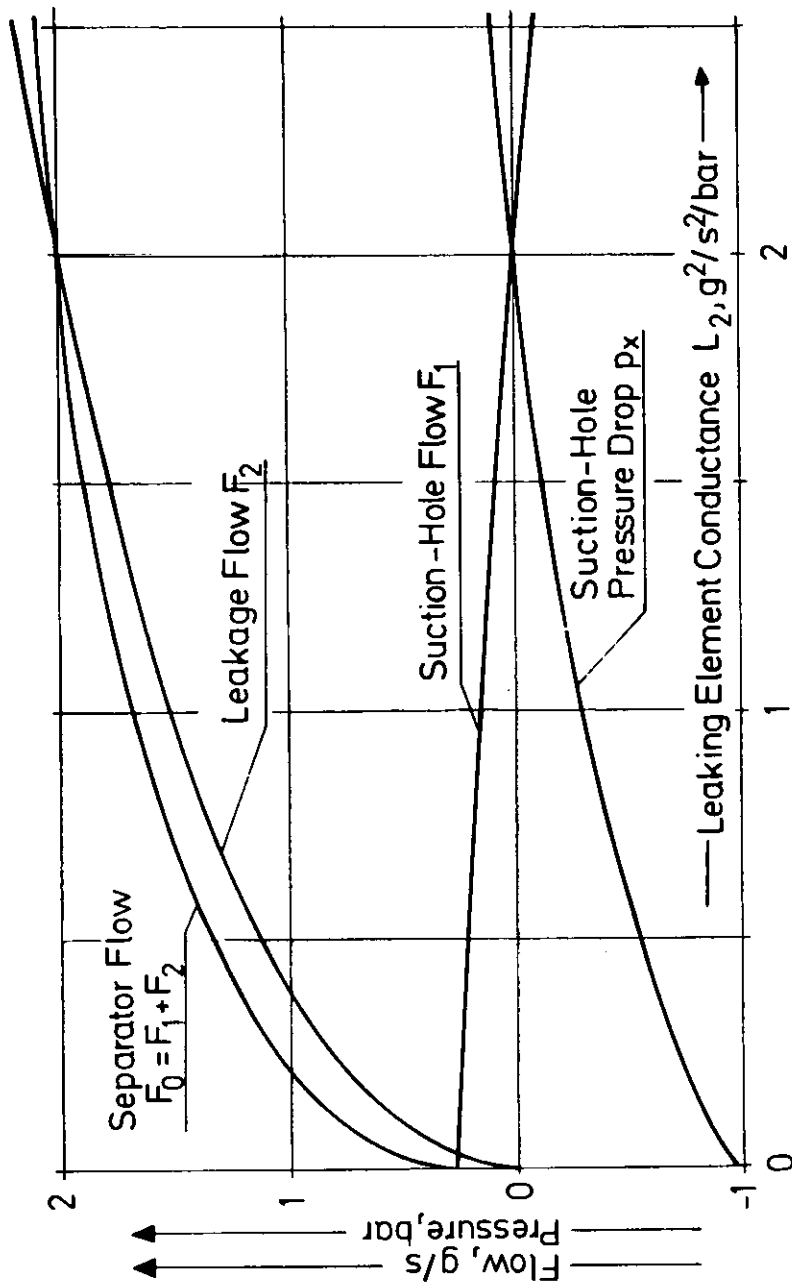
SIEMENS



Venting System BR2 - Helium - Loop Mol  
Equivalent Circuit Diagram

R 133  
1972

Bild 7



Cladding Failure  $p_2 = 2 \text{ bar}$  Separator Conductance  $L_0 = 4 \text{ g}^2/\text{s}^2/\text{bar}$   
 Coolant Pressure at Element Outlet  $p_1 = 0$  Suction-Hole Conductance  $L_1 = 0.08 \text{ g}^2/\text{s}^2/\text{bar}$   
 Blowers Inlet  $p_0 = -1 \text{ bar}$

Venting System BR2-Helium-Loop Mol  
 Hydrodynamic Performance

RT 33  
 1972

## 7. DRIVER FUEL ELEMENT AND FUEL TRANSFER DEVICE

### A. Falla, CEN-Mol

#### 1. Driver fuel element for a 200 mm BR2 reactor channel

##### 1.1 Description

A new type of "driver" fuel element has been designed in order to increase the irradiation possibilities in a 200 mm BR2 reactor channel, especially under fast neutron flux conditions.

The driver fuel element is shown on the enclosed figure 1. The construction is of the same principle as the ordinary 6-plates fuel element but the number of plates and the outer diameter are increased. It consists of 10 to 13 concentric cermet fuel plates assembled in 45° segments. Eight segments are attached together by upper and lower riveted end fittings.

The figure 1 shows the disposition in the mid plane cross section for the irradiation of KFA helium loop with 12 vented fuel pins and under a cadmium screen. The new arrangement presents the following advantages compared with the previous ones<sup>+</sup>:

- 1) Increase of the loaded U 235 weight for the same available experimental cavity.
- 2) Flexibility in the adjustment of the loaded U 235 weight according to the required neutron flux conditions in the experiment.
- 3) Adaptation of the available diameter inside the cadmium screen: if the number of plates changes from 13 (type 213) to 10 (type 210), the inner diameter of the cadmium screen varies from 75,8 mm to 101.4 mm respectively.

##### 1.2 Foreseen timing

A prototype of the fuel element type 213 (13 plates) and a cadmium screen have been ordered to check their hydraulic characteristics and their mechanical strength by a test run in the out-of-pile water loop at CEN Technology department. These tests must provide the final specifications of the fuel element by the end of September 1973.

Measurements in the BR2 mock-up facility (BRO2) are to be done by CEN/SCK as far as the neutron flux conditions in central and peripheral 200 mm channels are concerned.

The order of the driver fuel elements could be placed second half of 1973 and the delivery is expected first half 1974.

---

<sup>+</sup> The previous arrangement consists in a 200 mm aluminium plug with six peripheral 58 mm ID holes and a central experimental cavity. The six holes are loaded with 3-plates fuel element while the cadmium screen and the In-Pile Section are installed in the central cavity. The available diameter inside the cadmium screen was limited to 69 mm.

## 2. Fuel Transfer Device

### 2.1 Introduction

In the course of the preliminary design of the helium-loop IPS, it appeared that the desactivation power rate in the irradiated fuel pin bundle after the reactor shut down was quite larger (by a factor of 2.5) than in the previous Siemens CO<sub>2</sub> loop. This higher power rate would have increased the delay between the reactor shut down and the unloading manipulations of the irradiated fuel pin bundle without any adequate forced convection cooling. This delay, more than 7 days, is not compatible with the present BR2 reactor operation.

It is proposed that, after the end of the irradiation campaign, the tested fuel element would stay for another reactor cycle (about 24 days) in the in-pile section but, this time, in such a position above the reactor core that it is withdrawn from the neutron flux and however cooled by the helium forced circulation.

A mechanism has been designed, by KFA, to lift the irradiated fuel element above the core. One must note that in the present disposition, the in-pile section top plug, the lifting mechanism and the fuel pin bundle in its casing tube are handled as a whole during the unloading and loading manipulations. They are also stored and transferred as a whole to the hot cells.

This latter point leads to a simplified concept of the fuel transfer device which might consist of a single tube instead of the four hole cylinder (as used for the former CO<sub>2</sub> in-pile loop).

Moreover, the previous system ought to be heavily modified as far as the dimensions of the storage holes are concerned. The rotation mechanism of the cylinder, which gave some trouble, had to be reviewed.

In conclusion, it has been decided to design a new fuel transfer device based on the single tube concept.

### 2.2 Description

The fuel transfer device must allow the following manipulations:

- Loading of a new fuel pin bundle: however, this operation may be done in open air too.
- Unloading of the irradiated fuel pin bundle: this operation must be done under reactor pool water as radiation shielding.
- Reloading of an irradiated fuel pin bundle: this must be done under reactor pool water.
- Storage of the irradiated fuel pin bundle in the reactor deep pool.
- Transfer of the irradiated fuel pin bundle into BR-2 hot cells.

The preliminary design of the fuel transfer device is shown on the enclosed figure 2. It consists of a 7.50 meter long tube with two ball valves (items 1 and 2) at the bottom and a tight closure flange at the top (item 4). The diameter of the valves is sufficient to pass the plug of the in-pile section and, consequently the other components.

A mechanism enables to operate both valves at the same time from the top end of the fuel transfer device. Gas connections (items 8, 9, 10) are provided to check the tightness of both valve seats and packings and of the upper closure flange.

Moreover, the locking mechanism (item 13) between both ball valve flanges can be remotely operated from the top of the fuel transfer device.

As mentioned above, the manipulations of a fresh fuel element may be done in open air but the manipulations of an irradiated fuel has to be performed under pool water. This latter case is briefly described hereafter.

Before the unloading manipulations, the in-pile section must be depressurized under the atmospheric pressure (some water mm).

The fuel transfer device is installed on the top flange of the in-pile section while its upper end is attached to the pool bridge from where all the manipulations are conducted. The tightness of the ball valves is checked and the pool water level is raised. The upper end of the fuel transfer device remains above the water level.

The fuel transfer device is connected through item 7 to BR2 ventilation system in order to avoid any external contamination. The upper flange of the fuel transfer device is now removed in order to pass the tool with a hooking mechanism adapted to the in-pile section plug. Both ball valves are also opened. When the irradiated fuel element hangs in the fuel transfer device, the ball valves are closed and the flange is re-installed on the upper end.

The tightness of the valves and of the fuel transfer device is now checked through gas connections 9 and 7.

If the tightness is satisfactory, the lock mechanism 13 of the valve flanges is opened and the fuel transfer device, with one ball valve, is removed and stored in the deep pool until its transfer to BR2 hot cells. The pressure in the fuel transfer device is controlled through item 8. Afterwards the pool water level may be lowered in order to open the ball valve 1 and to insert a plug in the in-pile section, unless another fuel element must be reloaded. The tightness of the plug is checked through the gas connection 10. If the tightness is satisfactory, the ball valve 1 may be removed.

#### Remarks

If a fresh or irradiated fuel element must be loaded immediately after a previous irradiation campaign, a second fuel transfer device must be built to load the new fuel element while the first one remains in the deep pool during the desactivation time (2 or 3 months) of the irradiated fuel element.

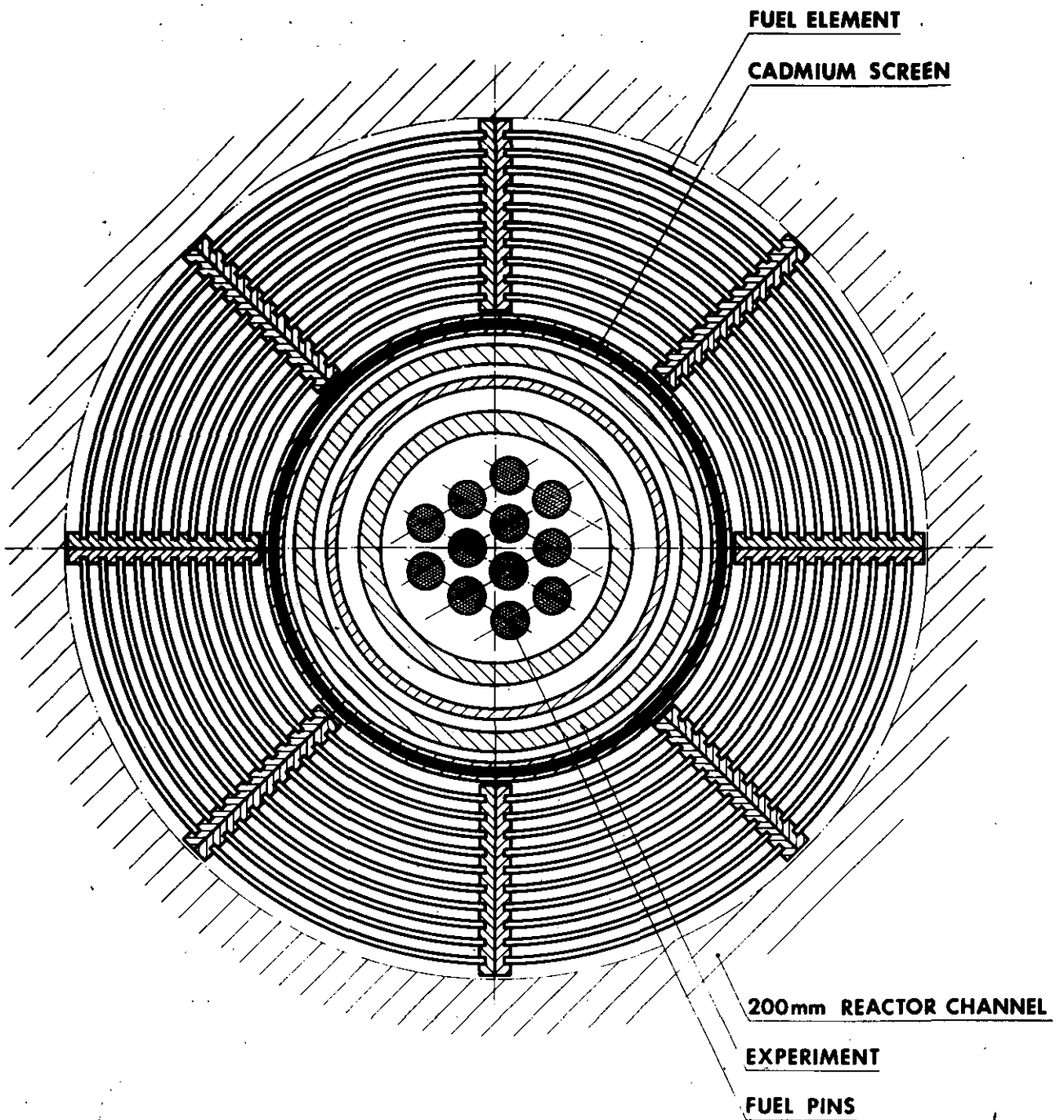
One will note that an irradiated fuel element can be reloaded by means of the fuel transfer device. After the installation of the lower ball valve (item 1) on the in-pile section flange, the pool water level is raised and the fuel transfer device with irradiated

fuel element is handled under the pool water (radiation shielding). After the installation of the fuel transfer device on the ball valve 1, the water enclosed between valves 1 and 2 is evacuated through the gas connection 9 by means of a vacuum pump. Now both valves can be opened and the fuel element is inserted into the in-pile section.

### 2.3 Timing

In February 1973, the preliminary design of the fuel transfer device is completed. The time schedule for the future work is as follows:

detail drawings	completed in May 1973,
fabrication	from July to November 1973,
testing	January and February 1974.



**CROSS SECTION OF A HELIUM LOOP  
WITH FUEL ELEMENT TYPE 200 BR2**

Fig. 1

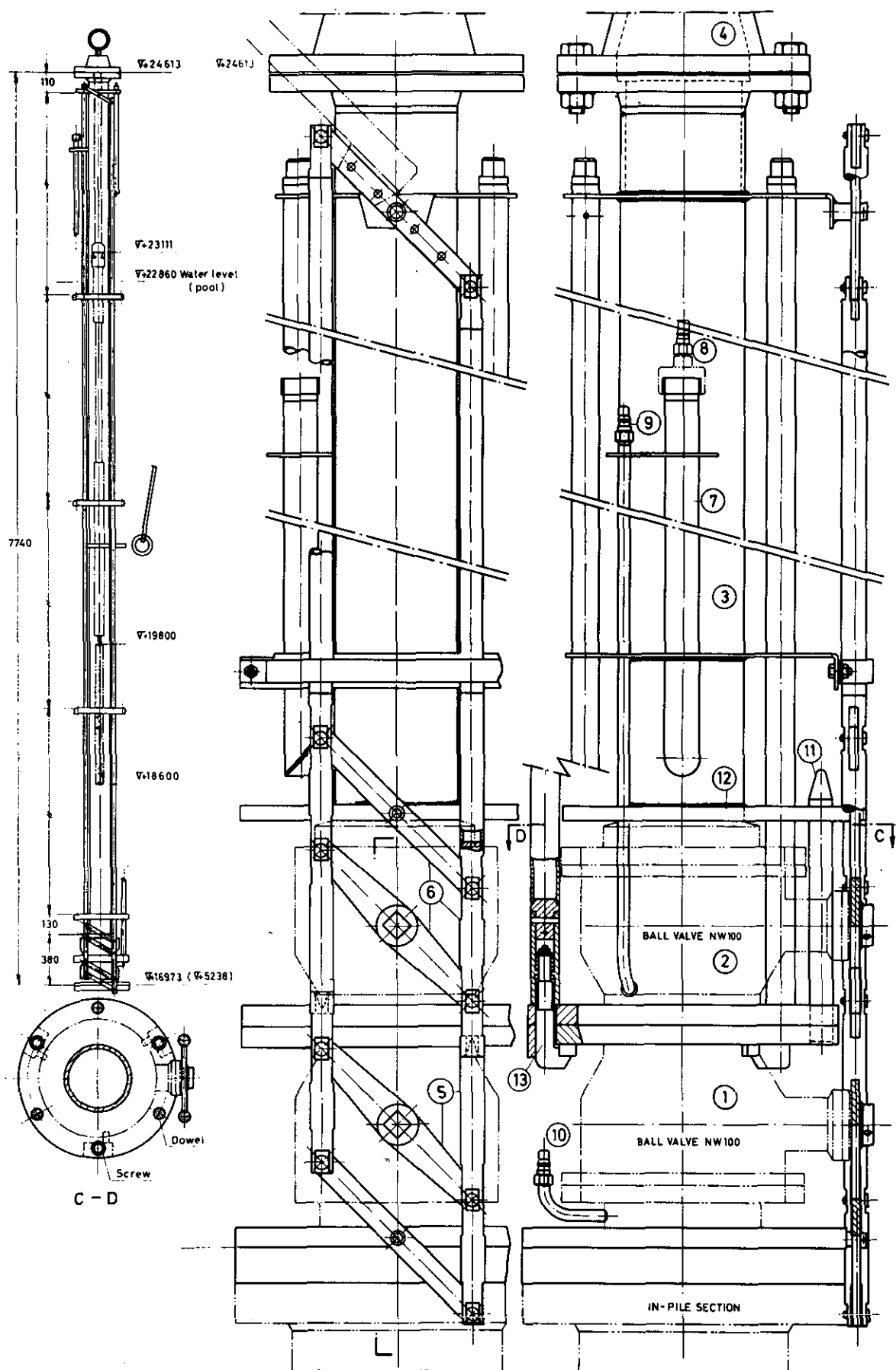


Fig. 2



## 8. VERSUCHE ZUR ENTWICKLUNG DER TESTBRENNNELEMENTE

M. Peehs, Siemens AG

### 1. Einleitung

Das zu entwickelnde Testbrennelement stellt einen verkürzten Ausschnitt des Original-Gasbrüter-Brennelementes (GSB-BE) dar. Das Testbrennelement enthält alle für das GSB-BE charakteristischen Komponenten einschließlich des Abstandshalters. Bei den gewählten Bestrahlungsbedingungen und dem angestrebten Abbrand werden das für den Gasbrüter charakteristische Schwellen und die damit verbundenen AH-Probleme allerdings nicht auftreten.

Die beschriebene Aufgabe ist unter folgenden Randbedingungen zu lösen:

- Die zu entwickelnden Komponenten sollen richtungsweisend für das GSB-BE sein. Problemstellungen des GSB-BE, die wesentlich über die Erfordernisse des Test-BE hinausgehen, werden jedoch nur soweit bearbeitet, als es für eine sichere Funktion des Test-BE notwendig ist.
- Die anzuwendenden bzw. zu entwickelnden Technologien sollen - soweit als möglich - auf eine wirtschaftliche GSB-BE-Fertigung prinzipiell übertragbar sein.
- Der im Rahmen der hier durchzuführenden Arbeiten angestrebte Entwicklungsstand ist auf eine Einzelfertigung von Test-BE im Labor beschränkt.
- Das Einfüllen des Pu-haltigen Brennstoffes geschieht in konventioneller Weise. Die mit Brennstoff gefüllten BS werden anschließend zu einem BE assembliert. Andere Vorgehensweisen, welche für eine GSB-BE-Fertigung interessant sein könnten, werden nicht betrachtet.

Für die Entwicklung des Test-BE stehen 5 Quartale zur Verfügung. Die Arbeiten sind abgeschlossen, wenn:

- eine Fertigungsspezifikation eines bestrahlungswürdigen Test-Brennelementes vorliegt
- ein Test-BE ohne Brennstoff gefertigt ist.

Die Entwicklungsarbeiten wurden am 1.1.1973 begonnen. Abb. 1 zeigt den Terminplan der durchzuführenden Arbeiten.

Für alle Bauteile selbstverständliche Entwicklungsarbeiten sind die notwendigen Abstimmungen der Konstruktion auf die verfügbare Technologie. Das heißt, es wird vor der endgültigen Festlegung von Einzelteilen, Baugruppen oder letzten Endes des kompletten Elementes durch Probefertigung und Montageerprobung die einwandfreie und reproduzierbare Montage sichergestellt. Insbesondere wird dabei angestrebt, Möglichkeiten zur Nachbesserung und Reparatur durch Teileaustausch offenzuhalten.

Dieses Vorgehen ist jedoch bei jeder Neuentwicklung bzw. Überarbeitung eines Elementes selbstverständlich. Die nachstehend in den Problemkreisen

- Brennstab
- Gasführungsgitter / Stabhalteplatten
- Brennelement-Kopf

zu besprechenden Arbeiten sind spezifisch für das Gasbrüter-Brennelement und daher zusätzlich durchzuführen.

Auf die Konstruktion und Auslegung des Test-Brennelementes wird in diesem Referat nicht näher eingegangen. Hierzu wird auf den Beitrag von Herrn Jung im Rahmen dieser Vortragsreihe verwiesen.

## 2. Problemkreis Brennstab

### 2.1 Obere Endkappe mit Pu-Schutzmembran

Wie bekannt, ist der GSB-BS durch die obere Endkappe ventiliert. Ist der BS mit  $\text{UO}_2/\text{PuO}_2$  gefüllt, so kann z. Z. nicht mit genügender Sicherheit ausgeschlossen werden, daß nicht Spuren von Pu aus dem Ventilationssystem während der BE-Montage austreten. Der Ventilationsskanal wird daher im Bereich der oberen Endkappe mit einer Berstmembran verschlossen. Diese soll dann nach Beendigung der BE-Montage und vor Inbetriebnahme des Elementes durch einen Druckstoß geöffnet werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Methoden zur Anbringung der dünnen Metallmembranen.

Membran-Werkstoff	Dicke / $\mu\text{m}$	Verschlußtechnik			
		e-Strahl-Schweißen	Widerstands-Schweißen	US-Schweißen	Löten
1.4300	50	x	x	x	x
1.4300	20	x	x	x	x
1.4310	10		x	x	x
Cu	50		x	x	x
Cu	25		x	x	x
Cu	10		x	x	x
Al	10			x	

Die Berst-Drücke der 50  $\mu\text{m}$  Stahl-Membranen liegen oberhalb 150 bar, die der 25  $\mu\text{m}$  Stahlmembranen bei 100 bar, die der 10  $\mu\text{m}$  Membranen bei 60 bar. Die Berstdrücke der Cu-Membranen liegen erwartungsgemäß tiefer: 50  $\mu\text{m}$  entsprechen einem Berstdruck von 100 bar. Weitere Versuchsergebnisse liegen noch nicht vor.

Der Nachweis, daß die Schutzmembran eines BS geborsten ist, ist am fertig montierten Element zu führen. Dazu mißt man die Durchmesseränderung eines BS, wenn er über das Spaltgasventilations-system mit Druck beaufschlagt wird (50 bar  $\hat{=}$  2-4  $\mu$ m).

## 2.2 Arbeiten am Hüllrohr

Das an seiner Oberseite im aktiven Bereich des BS aufgerauhte HR wirft 2 spezielle Probleme auf

- a) Herstellung und Kontrolle der spezifizierten Aufrauung
- b) Abrieb der Aufrauung im Bereich der Abstandshalter (AH) durch Relativbewegungen von AH und BS und durch Vibration.

### 2.2.1 Herstellung und Kontrolle der aufgerauhten HR

Das Hüllrohrmaterial 1.4981 wurde bereits bei DEW erschmolzen. Die Prüfung der Knüppel erfolgte in Erlangen. Die Herstellung der glatten Hüllrohre geschieht bei Tube Investment Birmingham. Die Aufrauung wird bei Alpha Engineers hergestellt. Prüfverfahren der Aufrauung wurden bei Siemens untersucht. Betrachtet wurden dabei folgende Verfahren:

- a) Auswertung von Querschliffen
- b) Rasterelektronenmikroskopische Betrachtung
- c) Oberflächentestgerät (Perth-O-Meter)
- d) Lichtschnittmikroskopie
- e) Profilprojektor
- f) Lichtintensitätsmodulation

Das letzte Verfahren dürfte sich zur Serienprüfung eignen. Ein senkrecht zum Rohr, tangential zum Rohrumfang einfallender Lichtstrahl wird durch ein in axialer Richtung relativ zum Lichtstrahl bewegtes Hüllrohr in seiner Intensität moduliert. Die Intensitätsmodulation wird digital umgesetzt und mit einem Rechner ausgewertet. Es ist beabsichtigt, dieses Verfahren soweit zu entwickeln, daß eine automatische Prüfung mit "ja-nein"-Entscheidung möglich ist.

### 2.2.2 Reibprobleme am AH

Das aufgerauhte HR wirft spezielle Abriebprobleme im AH-Bereich auf. Es werden daher Reibversuche in He bei Betriebstemperatur geplant. Ziel dieser Versuche ist es, die Veränderungen der HR und AH festzustellen und evtl. Gegenmaßnahmen gegen zu hohen Abtrag zu erproben. Die Versuche werden bei hinsichtlich des Testbrennelementes originalen Einsatztemperaturen in He bei 2 bar durchgeführt. Mit dem Aufbau einer Testapparatur wurde begonnen.

### 2.2.3 Über den eventuellen Einsatz von Metallgettern

Im Referat von Herrn Dr. Stehle wurde ausgeführt, daß die Begrenzung der maximalen Einsatztemperatur des GSB/BS vermutlich durch die einsetzende Reaktion des Hüllrohres mit Spaltprodukten nach oben begrenzt wird. Nachbestrahlungsuntersuchungen am Experiment GB9 der GGA zeigten eine Anreicherung von Spaltprodukten am Übergang Blanket/aktive Zone und geringe Reaktionen der Spaltprodukte mit dem Hüllrohr.

Es ist in der Literatur berichtet, daß der Einsatz von Nb-Gettern in Brüter-BS die Wechselwirkung von Spaltprodukten und HR-Werkstoffen stark vermindert. Zum Einbringen des Nb stehen z. Z. 2 Techniken zur Verfügung:

- a) Sputtern im Torr-Bereich
- b) Salzschnelzenelektrolyse.

Mit beiden Verfahren können Nb-Schichten im Innern von HR abgeschieden werden. Darüber hinaus soll im SNR-Programm ein Chemical Vapor Deposition-Verfahren zur Abscheidung von Nb im Hüllrohrinnern entwickelt werden.

Falls weitere Analysen dieses Problemkreises es notwendig erscheinen lassen, bereits für das Test-BE Nb-Getter zu verwenden, erscheint es möglich, im Rahmen des Terminplans eine der verfügbaren Technologien entsprechend durchzuentwickeln.

### 3. Problemkreis Gasführungsgitter / Stabhalteplatte

Im Bereich GFG/SHP werden die Spaltgasventilationskanäle zu einem gemeinsamen Kanal zusammengefaßt. Gleichzeitig wird jeder BS über seine obere Endkappe mit der Struktur der BE kraftschlüssig verbunden. Zur Lösung der Verbindungsprobleme werden z.Z. zwei Lösungswege in Konkurrenz betrachtet:

#### 3.1 Löten

Bei der Lötversion werden die einzelnen BS mit einer SHP kraftschlüssig verschraubt. Alsdann wird ein GFG aufgestülpt und mit den BS so verlötet, daß diese gasdicht mit dem GFG verbunden sind. Um einen Verzug der geometrisch komplizierten Gebilde zu vermeiden, werden spezielle Niedertemperaturlote entwickelt.

Die Arbeitstemperatur dieser Lote sollte zwischen 450°C und 600°C liegen. Nachteilig ist dabei jedoch, daß die Oberflächenoxidschichten des Stahls vom Lot nicht mehr gelöst werden, so daß Probleme der Benetzung zwischen Lot und Stahl entstehen. Unter Umständen müssen daher die zu verlötenden Flächen elektrolytisch mit dünnen Schichten von Cu, Ag oder Au belegt werden.

#### 3.2 Die Schraubversion

Eine Umgehung der aufwendigen Löttechnik durch verschraubte und metallgedichtete Verbindungen könnte für ein GSB/BE von erheblichem Vorteil sein. Gleichzeitig können bei dieser Version die Bauteile Stabhalteplatte/Gasführungsgitter (SHP/GFG) konstruktiv zu einem Bauteil vereinigt werden. Zwei grundsätzlich verschiedene Methoden der Dichtung werden untersucht (Bild 2-3).

Im Ausschnitt wurden solche Schraubverbindungen hergestellt. Beide Versionen sind nach dem Verschließen dicht ( $\leq 10^{-7}$  Torr.l/sec). Temperaturwechsel von 5 grad/s nach oben und 5-7 grad/s nach unten werden ertragen. Eine Auslagerung bei 300°C in He bis zu 150 h hatte keinen Einfluß auf die Dichtfunktion.

Bevor eine Entscheidung über den möglichen Einsatz gefällt werden kann, sind weitere Erprobungen durchzuführen:

- 1) Dauertest bis 300°C
- 2) Rütteltest bei RT und 300°C
- 3) Dichtheit nach Zug- und Biegebelastung
- 4) Umlaufbiegeversuche.

### 3.3 Spezielle technologische Fertigungsprobleme

#### 3.3.1 Funkenerosion

Die Formgebung der Bauteile im Bereich GFG/SHP erfolgt durch Funkenerosion. Hierbei können grundsätzlich 2 Wege beschritten werden:

- a) Die erosive Bearbeitung vermittelt spezieller Elektroden (gut geeignet für große Stückzahlen)
- b) Das programmgesteuerte Aussägen von Bauteilen (gut geeignet für kleine Stückzahlen und verschiedene Geometrien)

Im Falle der Herstellung von Teilen für das Test-BE wird von der Möglichkeit b) Gebrauch gemacht.

#### 3.3.2 Tieflochbohren

Zur Herstellung der Spaltgaskanäle im GFG eignet sich besonders das Tieflochbohrverfahren. Mit diesem Verfahren wurden bereits GFG für Original-Elemente gefertigt.

Der Vorteil des Tieflochbohrverfahrens liegt insbesondere in der Selbstführung des Bohrwerkzeuges, so daß längere Bohrungen bei kleinem Durchmesser mit nur geringem Verlauf gebohrt werden können.

### 4. Problemkreis Brennelementkopf

Im Bereich des BE-Kopfes sind 2 dicht- bzw. strömungstechnische Probleme experimentell zu bearbeiten.

- 1) Dichtwirkung der Kolbenringe unter simulierten Betriebsbedingungen
- 2) Geometrische Realisierung des Soll-Lecks an der Spaltgasübertrittsstelle

Im Idealfall sollte die Funktion des Dichtbereiches und der Spaltgasübertrittsstelle durch Versuche mit einem He-Loop bei Originaldruck und -durchsatz erprobt werden. Da eine solche Versuchseinrichtung nicht zur Verfügung steht und auch im Rahmen der verfügbaren Zeit und Mittel nicht bereitgestellt werden kann, soll die folgende, quasi-statische Versuchstechnik zur Anwendung kommen (Bild 4):

Das Modell eines BE-Kopfes wird in ein Trennrohr eingesetzt. Über Meßleitungen wird die nach außen gasdicht gekapselte Versuchsanordnung an 2 Druckreservoirs von bekanntem Volumen angeschlossen. Öffnet man die Ventile, strömt das Gas vom höheren zum niedrigeren

Druck wahlweise über die Kolbenringdichtung oder über die Soll-leckage des Spaltgasübertritts. Schreibt man dabei die anstehende Druckdifferenz als Funktion der Zeit, kann jeweils zu einer Wertkombination  $p$ ,  $\Delta p(t_0)$ ,  $t_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  der Strömungswiderstand des Bauteiles bestimmt werden, an dem die Druckdifferenz  $\Delta p(t)$  ansteht.

Zunächst ist geplant, die Versuche bei Originaldruck, jedoch bei Raumtemperatur durchzuführen. Die Ergebnisse können auf die Betriebstemperatur umgerechnet werden.

Zusätzlich soll der Versuchsaufbau auf  $300^\circ\text{C}$  aufheizbar sein. Man kann dann durch von außen angreifende Rüttelmechanismen Verschleißvorgänge simulieren und deren Einfluß auf die Strömungsverhältnisse messen.

## 5. Schlußbetrachtung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde ein Überblick über die für die Entwicklung des Testbrennelementes für den Bestrahlungsversuch im BR-2 in Mol notwendigen Arbeiten gegeben. Es war nicht beabsichtigt, die Experimente im Detail zu erörtern, sondern über Art, Umfang und prinzipielle Vorgehensweisen zu informieren. Ein wesentlicher Gesichtspunkt der geschilderten Überlegungen ist es dabei, im Rahmen der verfügbaren Zeit und Mittel ein bestrahlungswürdiges Test-Brennelement zu entwickeln und in seinen wesentlichen Eigenschaften zu erproben.

## Anhang A

**Terminplan zur Entwicklung des Gasbrüter-Brennelementes für  
den Bestrahlungsversuch in Mol  
(Übersicht)**

Stichwort	Vorlauf	I	II	III	IV	V	VI
Brennstoff	+						
Aktiv-Kohle	GGA						
BS-Falle	-						
Metallgetter	+						
Hüllrohrtyp	+						
Strukturteile	-						
Obere Endkappe	-						
Untere Endkappe	-						
BE-Kopf (Dichtb)	+						
Spaltgasübertritt	+						
BE-Falle	-						
Dehnungsausgl.	-						
GFG / SH	+						
Abstandshalter	-						
Leitrohr	-						
Be-Montage	+						
Dummie-Vers.	-						

Abb. 1

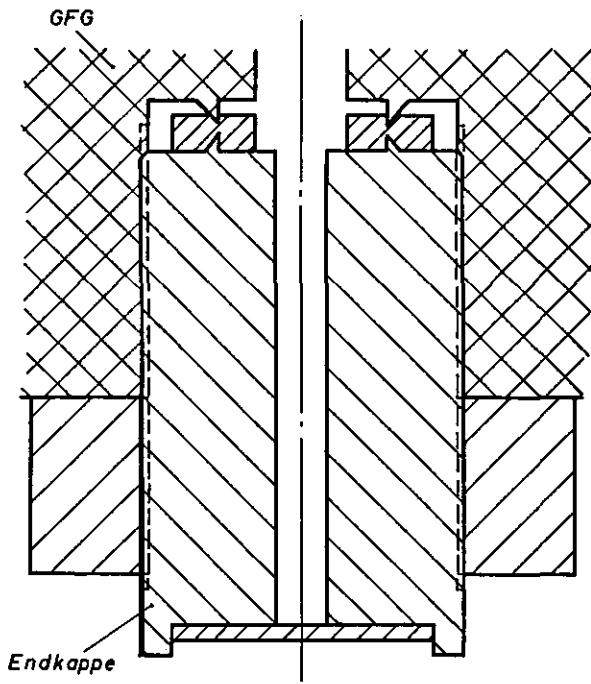


Abb. 2

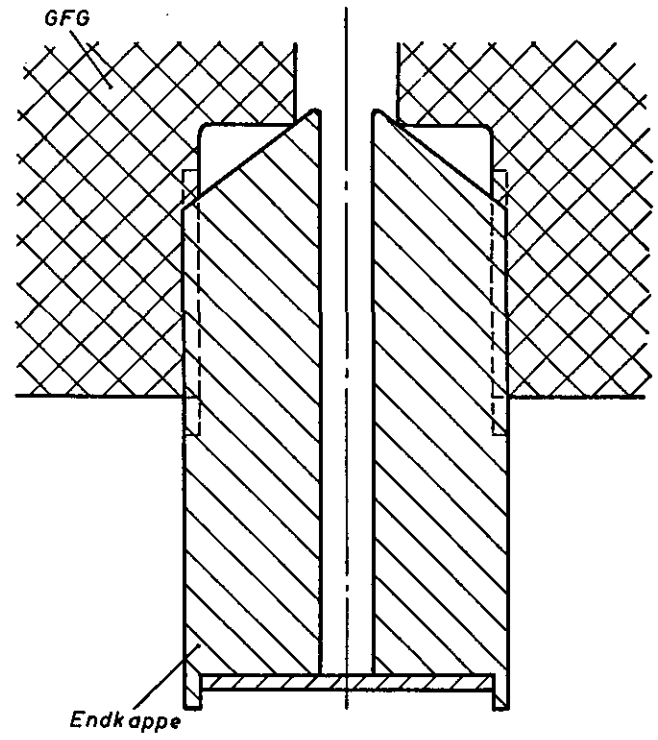


Abb. 3

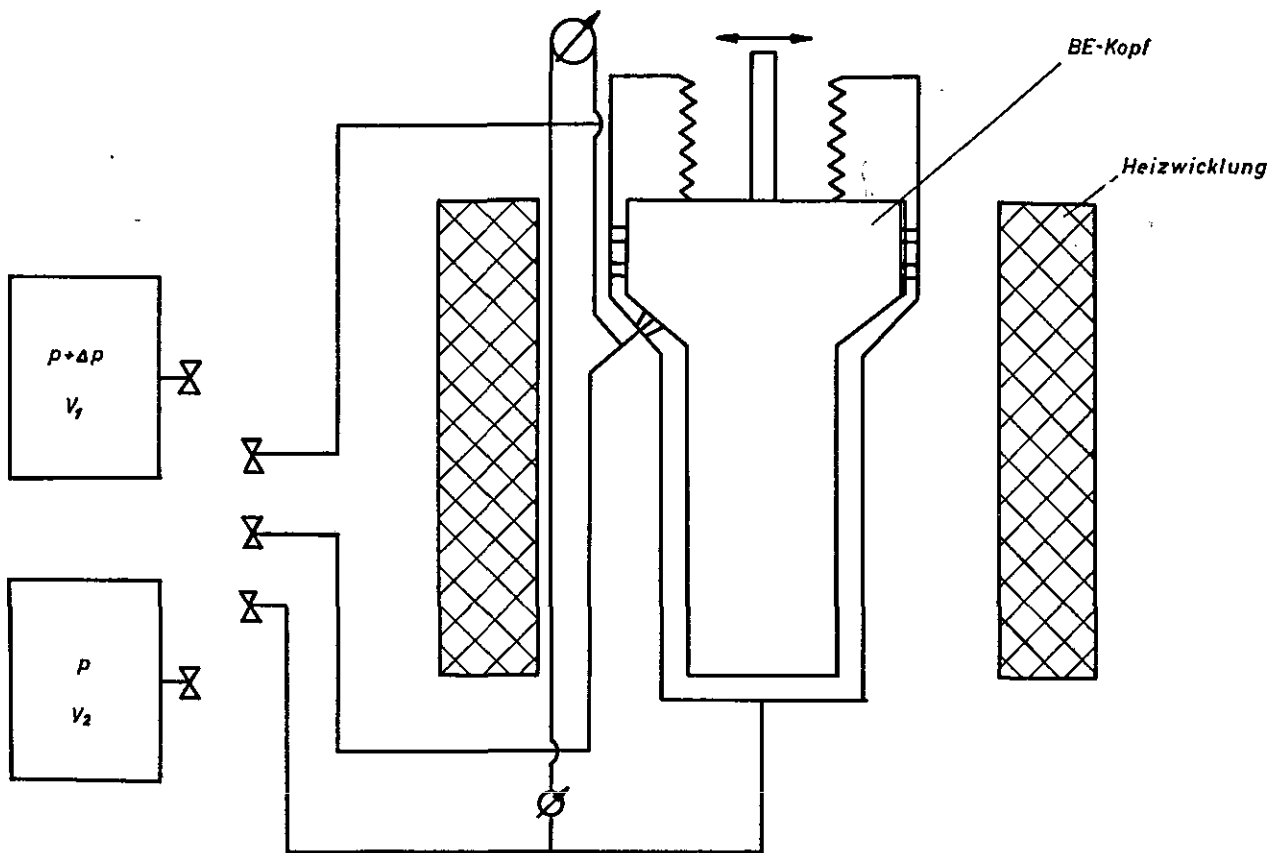


Abb. 4



## 9. NEUTRON PHYSICS CALCULATIONS AND EXPERIMENTS

J. de Brue, CEN

### Progress report

The neutron physics work performed up to now at Mol within the frame of the irradiation of the KFA helium loop in BR2 consisted mainly in a theoretical study, taking into account the specifications imposed on the power rating in the fuel pin bundle and the available neutron field in the reactor. On the experimental side, no specific measurements were carried out till now but a series of tests were performed in the zero power reactor BRO2, preparing a modification of the present BR2 core loading: the BR2 irradiation programme from 1974 onwards - more particularly the irradiation of the helium loop - will indeed require a change of the core configuration, principally in order to increase the flux in the peripheral 200 mm diameter channels.

Figure 1 shows the present core loading with six safety rods. This loading, which contains now about 30 irradiation devices, surrounds the 200 mm diameter central channel  $H_1$  where the MOL 7B sodium loop is located. Eighteen SNR fuel pins are irradiated in the loop, at a maximum specific power of about 450 W/cm. A cadmium screen and six special fuel elements surround the In-Pile-Section of the loop, inside the  $H_1$  channel.

From the beginning of 1974, a second sodium loop - for the irradiation of carbide fuel - will be loaded in a 200 mm channel; the peripheral  $H_3$  channel has been selected. The irradiation of the helium loop will take place later in the  $H_4$  channel whereas oxide pin testing in sodium will continue in the  $H_1$  channel.

In order to meet the specifications imposed by the loop irradiations in  $H_3$  and  $H_4$ , a higher fuel concentration is needed in and around these channels. The reactor core loading has therefore to be centered off in the beryllium matrix and the control rod pattern must accordingly be modified. Because of its flexibility, the reactor can accommodate itself to such a modification.

The feasibility study of the helium loop irradiation experiment in a 200 mm channel started in 1971. One-dimensional transport calculations were performed to define the characteristics of the cadmium screen and the number of fuel pins in the bundle. The utilization of a new type of fuel element around the loop, inside the 200 mm channel, was proposed. Figure 2 shows a cross-section of the device, as adopted in the most recent calculations. The fuel bundle contains twelve 8 mm diameter pins; the element type 210 is made of eight subassemblies, each with 10 concentric fuel plates.

As the performances of the MOL 7B sodium loop located at present in the central  $H_1$  channel are known from thermal measurements, they provide the necessary normalization for the neutronic calculations of the helium loop characteristics. The power rating in the fuel pins of this loop can therefore be calculated straightforwardly for the case where the helium loop would be irradiated in the  $H_1$

channel. Furthermore, one-dimensional calculations are reliable in this case as they are able to describe the loops in  $H_1$  and their environment with a good geometrical approximation.

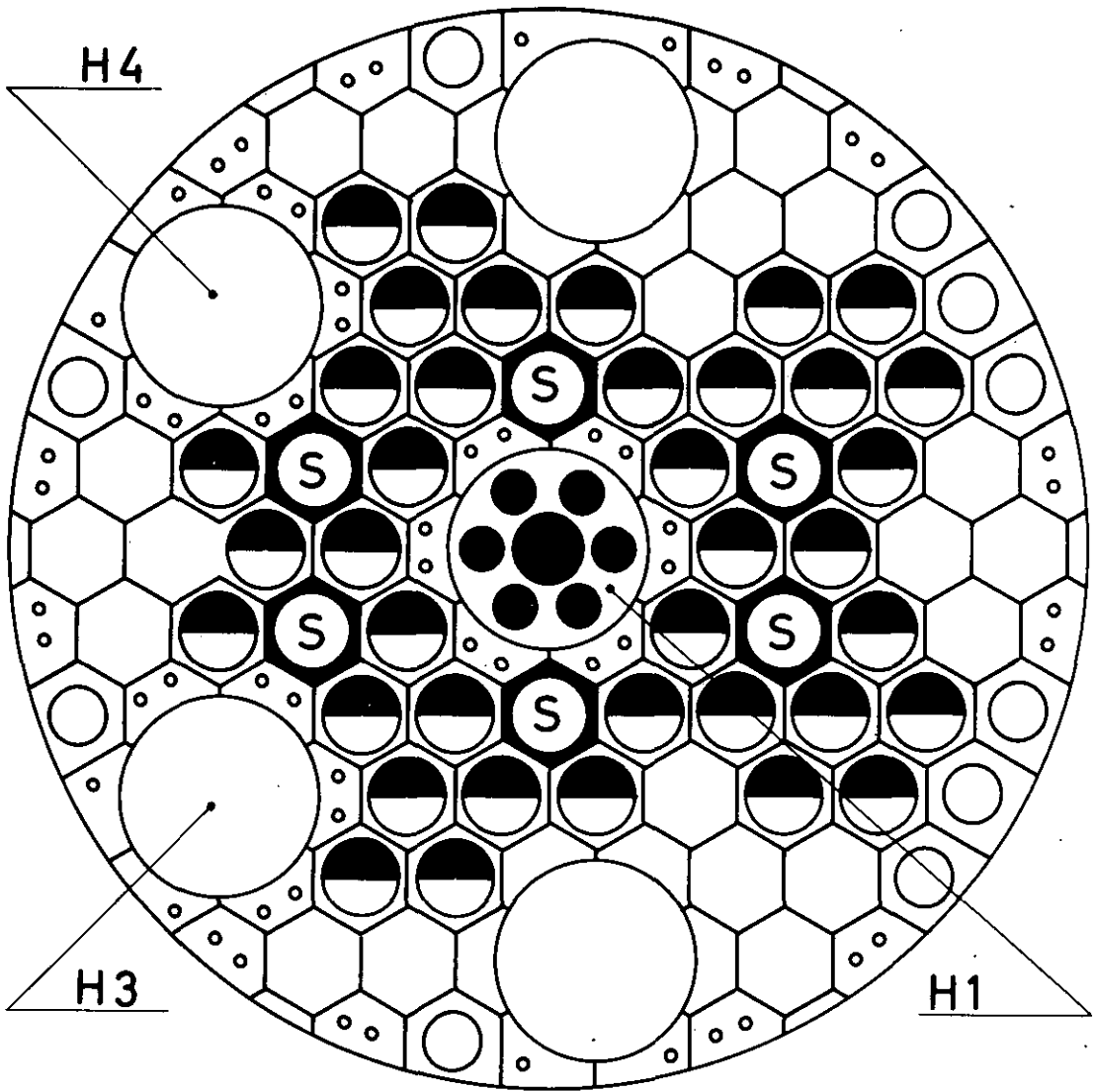
In order to have an estimate of the performances of the helium loop in the  $H_4$  peripheral channel, core configuration studies in BRO2 are under way. Figure 3 shows one of these configurations. The practical objective of the tests is to produce in  $H_3$  or  $H_4$  a fast flux as high as possible, with respect to the maximum heat flux in the fuel of the core loading. This maximum heat flux indeed limits the performances of the reactor.

The experimental results available at present indicate that the power density in the MOL 7B sodium loop located in a peripheral H channel would not exceed 50% of its actual value in  $H_1$ . Assuming that the calculated performances of the helium loop with respect to the performances of MOL 7B in  $H_1$  are also valid in a peripheral channel, one obtains the data listed in the attached table (fig. 4). To satisfy the specifications, the maximum heat flux should be raised up to  $600 \text{ W/cm}^2$ , compared to the  $450 \text{ W/cm}^2$  realized at present. The calculation of the critical heat flux, based on the thermal tests performed in BR2 in 1963 and 1965, indicates that this increase of the maximum heat flux is acceptable in the steady state operation conditions.

The further neutron physics work will consist in improving the accuracy of the predictions and in the pursuit of the optimization of the core loading.

It will comprise the following items:

- calculation of the low U-235 enrichment for the outer pins in order to flatten the power distribution in the bundle;
- measurements in BRO2 on a fuel element type 210, first in the central  $H_1$  channel and afterwards in a peripheral H channel; the first element of this type will be available in March (1973);
- measurements of the power density distribution in the pin bundle using a helium loop mock-up in BRO2;
- search and optimization of the modified core loading; this optimization will tend to reduce the maximum heat flux and to realize the irradiation programme in good operational conditions.



● Fuel element

⊙ Safety rod

Fig.1: BR2 Core configuration 7 B.

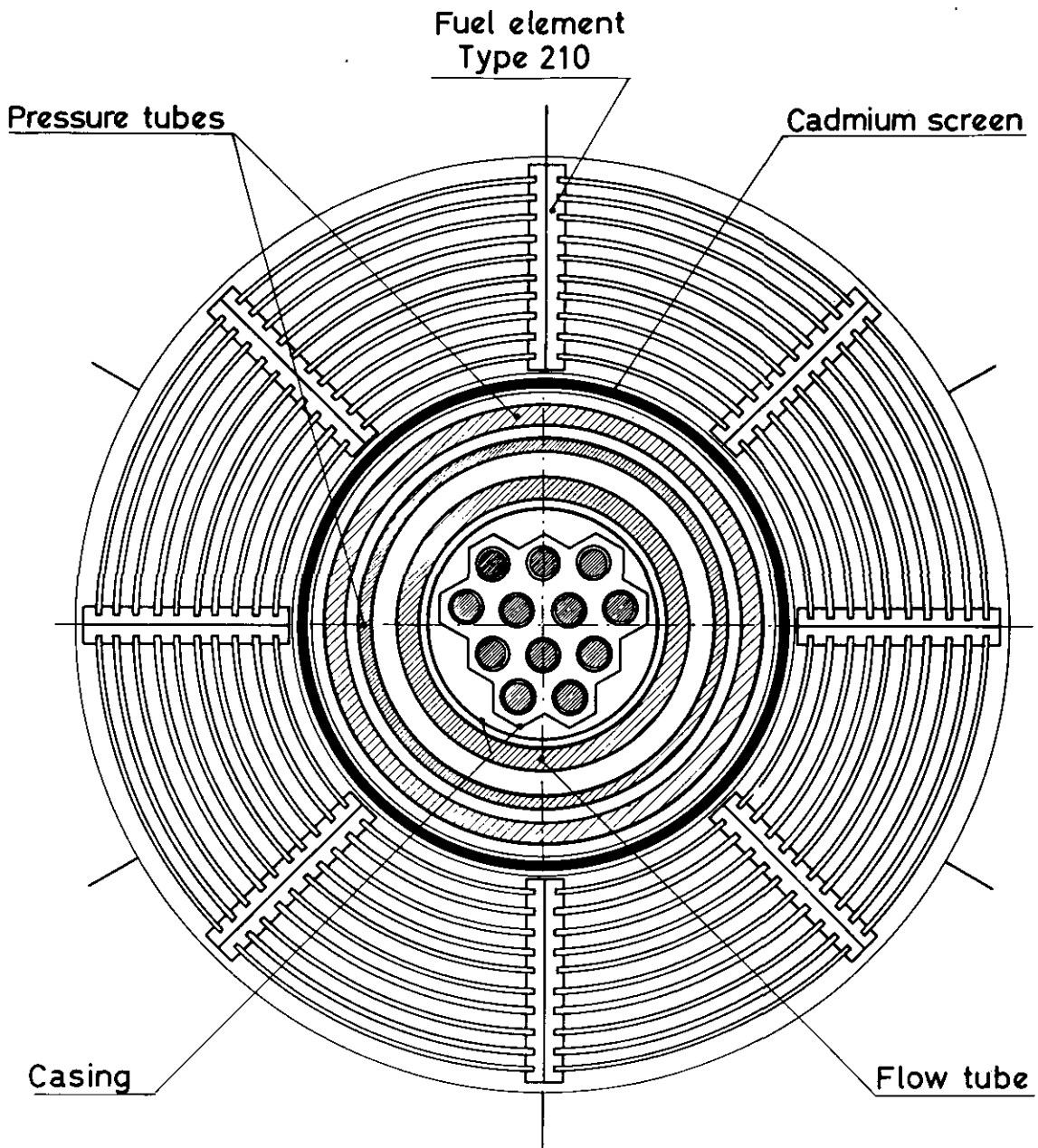
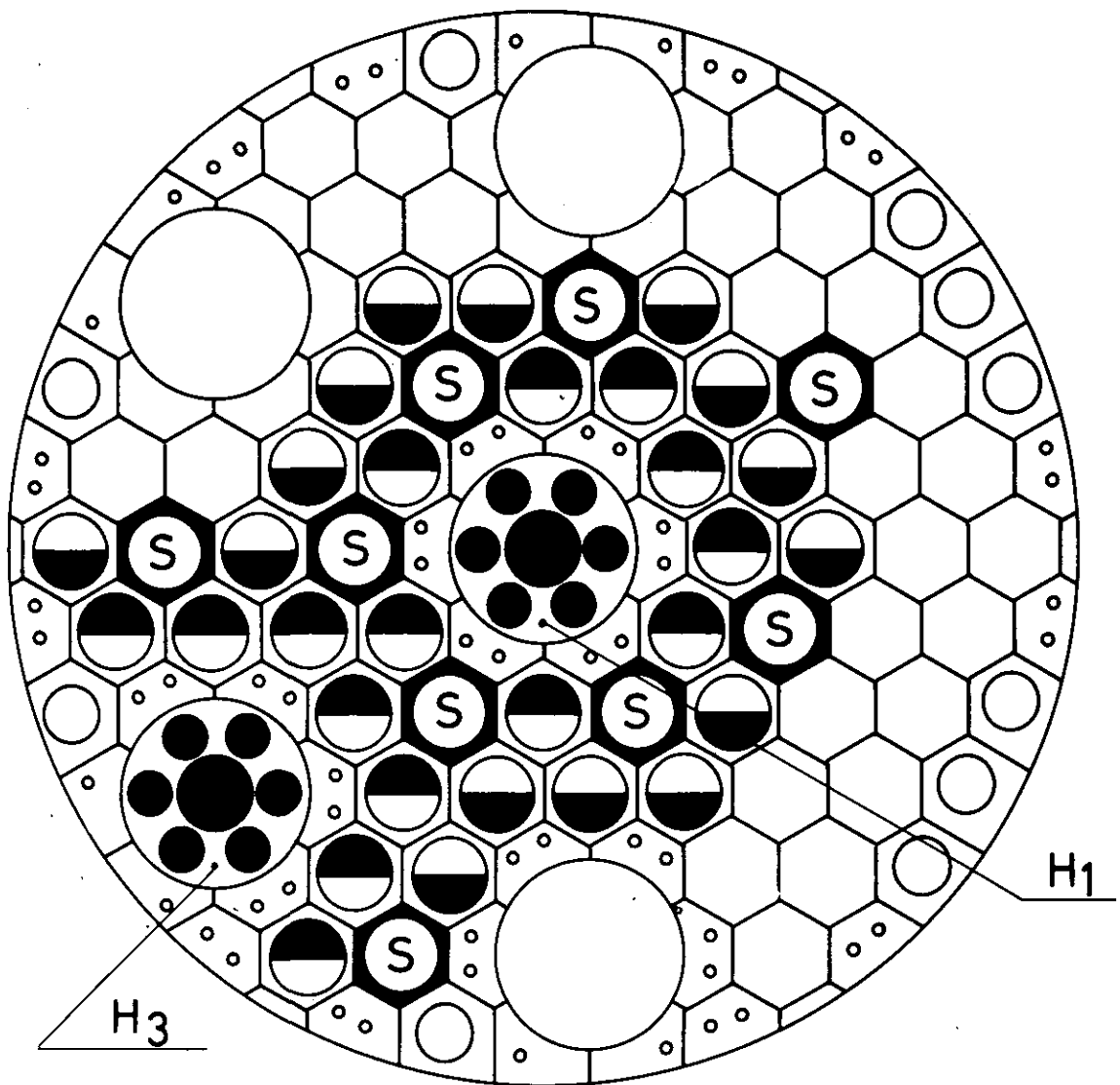


Fig. 2: Helium loop with a 12 pin bundle inside a fuel element type 210.






-  Cermet fuel element C 330.
-  Simulated burnt fuel element C 330.
-  Safety rod.

Fig. 3 . BR02 CORE CONFIGURATION 15E  
with sodium loop mock ups in H<sub>1</sub>  
and H<sub>3</sub>.

## PIN BUNDLE CHARACTERISTICS

Outer pin diameter	: 8 mm
Bundle pitch	: 11.1mm
Pu / ( Pu + U )	: 15 %
U <sup>235</sup> / U inner pins	: 90 %
outer pins	: ~ 70 %
Fuel linear density	: 3.3 g. oxide / cm

## PIN PERFORMANCES

Maximum linear power	
in each pin (target)	: 500 W/cm

## BR2 CORE OPERATION CHARACTERISTICS

Maximum heat flux	: ~ 600 W/cm <sup>2</sup>
Reactor power	: ~ 110 MW

Fig. 4

## 10. KALIBRIERVERSUCHE UND GSB-AKTIVITÄTEN BEI DER GfK IM JAHRE 1972

M. Dalle-Donne, GfK

### 1. Kalibrierversuche für die BR2-Bestrahlung

Während der Bestrahlung im Reaktor BR2 wird es nicht möglich sein, die Hülltemperatur der Brennstäbe zu messen. Die Kenntnis dieser Temperaturen ist jedoch sehr wichtig zur Auswertung dieses Experimentes und zur Vermeidung, daß unzulässig hohe Temperaturen während des Betriebes erreicht werden können.

Es ist deshalb erforderlich, diese Temperaturen in out-of-pile-Vorversuchen sehr genau zu messen. Zu diesen Vorversuchen, auch Kalibrierversuche genannt, eignet sich sehr gut der Heliumversuchsstand des Institutes für Neutronenphysik und Reaktortechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe (Abb. 1). Die Hauptmerkmale dieses Loops sind die folgenden:

- geschlossener Kreislauf,
- max. Temperatur an der Saugseite des Gebläses:  $300^{\circ}\text{C}$ ,
- max. Helium-Druck: 50 ata,
- max. Helium-Durchsatz: 1,2 kg/sec,
- max. Drucksteigerung: 2,5 atü,
- max. Gastemperatur:  $525^{\circ}\text{C}$ ,
- max. Heizleistung der Teststrecke: 600 kW.

Diese Parameter erlauben es, im Vorversuch fast den ganzen Bereich der BR2-Bestrahlung abzudecken. Es sind lediglich der maximale Helium-Druck und die maximale Helium-Temperatur geringfügig kleiner als beim Mol-Versuch, jedoch meint man, diese kleinen Extrapolationen mit vernachlässigbaren Fehlern machen zu können. Die Heizung der Stäbe erfolgt mit elektrischem Strom. Es ist deshalb nicht möglich, die kosinusförmige axiale Leistungsverteilung der Bestrahlung zu simulieren. Hier ist aber auch die Extrapolation vom konstanten Wärmefluß zur kosinusförmigen axialen Leistungsverteilung sicherlich nicht mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die Teststrecke für die Kalibrierversuche wird zur Zeit bei Siemens konstruiert. Es handelt sich um ein Stabbündel mit 12 Stäben von 8 mm Durchmesser. Die künstliche Rauigkeit an der Staboberfläche und die Abstandshalter sind die gleichen wie bei der BR2-Bestrahlung. Sie werden von den gleichen Firmen hergestellt. Die Kalibrierversuche werden 1974 durchgeführt.

### 2. GSB-Aktivitäten bei der GfK im Jahre 1972

#### 2.1 Wärmeübergangsexperimente

##### 2.1.1 Wärmeübergangsexperimente mit rauhen Flächen

Die Messungen der Wärmeübergangs- und Reibungskoeffizienten in Ringspalten bei großen Unterschieden zwischen Wand und Gastemperatur sind abgeschlossen. Die Ergebnisse können durch die für geringe Temperaturdifferenzen geltenden Beziehungen korreliert werden, unter Berücksichtigung des Temperaturfaktors, der für die Strömung in Rohren bei großen Temperaturunterschieden benutzt wird.

Ebenfalls abgeschlossen sind die Messungen des Wärmeübergangs- und Reibungskoeffizienten in Ringspalten, bei denen ein innerer Stab durch einzelne, umlaufende Rippen oder gewendelte Rippen aufgerauht wurde (Abb. 2, 3). Die Ergebnisse können durch Beziehungen in der Weise korreliert werden, daß die Anwendung auf andere Geometrien, beispielsweise Stabbündel, möglich ist.

Ein neuer Rauigkeitstyp (Abb. 4) mit versetzten Rauigkeitselementen wurde ebenfalls untersucht. Diese Rauigkeit führte zu einer Verbesserung (Abb. 5) um ca. den Faktor 2 im Verhältnis Pumpenleistung zu Wärmeleistung gegenüber der Rauigkeit mit umlaufenden Rippen.

### 2.1.2 Entwicklung eines Rechenprogramms für raue Stabbündel

Die Berechnungen der Druckverlustbeiwerte in einem Stabbündel mit 19 aufgerauhten Stäben bestätigen die für Ringspalte erzielten Werte. Das Rechenprogramm NISA I für hexagonal angeordnete Stabbündel und für eine beliebige Anzahl rauher Stäbe ist für die isotherme Strömung getestet worden. Das Programm wird auf den Fall mit Wärmeübergang ausgedehnt.

### 2.1.3 Versuche mit Stabbündeln

Die Ergebnisse der in dem Wasserversuchsstand an glatten Stabbündeln in hexagonaler Anordnung erzielten Druckverlustmessungen wurden veröffentlicht. Die Daten können zusammen mit einer Reihe weiterer Werte aus der Literatur durch eine Beziehung korreliert werden, die die Berechnung der Reibungsbeiwerte bei turbulenter Strömung für hexagonal angeordnete Stabbündel in Abhängigkeit von den Geometrieparametern ermöglicht. Die für die laminare Strömung gemessenen Reibungsbeiwerte stimmen mit den in einer früheren Arbeit gefundenen, theoretischen Werten gut überein.

Die aus Messungen des Wärmeübergangs und der Reibung bei quadratisch im Hochdruckheliumloop angeordneten Stabbündeln erzielten Ergebnisse konnten unter Berücksichtigung der Analogien zu den hexagonal angeordneten Stabbündeln verallgemeinert werden.

Die Messungen des Druckverlusts zahlreicher Abstandshalter für Stabbündel wurden zum Abschluß gebracht. Mit den experimentellen Untersuchungen über die axiale und radiale Temperaturverteilung in Bündeln mit rauhen Stäben im Bereich der Abstandshaltergitter wurde im Luftversuchsstand I begonnen. Die Teststrecke besteht aus drei Stäben. Rauigkeit und Gitterabstandshalter entsprechen der Siemens-Referenzauslegung.

## 2.2 Materialtests

### 2.2.1 Verträglichkeit Brennstoff-Hülle

Aufgrund von Berechnungen und Experimenten ist bekannt, daß Mischoxidbrennstoffe während des Reaktorbetriebs Hüllen aus Vanadiumlegierungen bis zu Sauerstoffkonzentrationen von 2 bis 3 Gew.% oxidieren können. Deshalb wurde beschlossen, die Oxidationskinetik der Vanadiumlegierungen bei Reaktorbetriebstemperaturen und die Verringerung der Duktilität bei Raum- und Betriebstemperatur in-



folge der Aufnahme von Sauerstoff zu untersuchen. Zerreißproben aus V, VTi3, Si1, VTi2 Cr15 und VZr2 Cr2 wurden bei 700 und 800°C in pulverförmigen Metall-Metalloxid-Mischungen von Cr/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bzw. V/VO geglüht. Diese Gemische simulieren ein hohes bzw. niedriges Sauerstoffpotential eines Mischoxidbrennstoffs. Nach 1000-stündigem Glühen waren die Zerreißproben bis zu einer Sauerstoffkonzentration von 9 Gew.% durch die Cr/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Umgebung und bis zu 2 Gew.% durch die V/VO-Umgebung oxidiert. Sämtliche Proben waren vollkommen versprödet und brachen schon beim Anfassen auseinander, so daß keine Schlagzerreißmessungen durchgeführt werden konnten.

Die Kinetik des Sauerstofftransports von den Mischoxidbrennstoffen zur Hülle wurde im Experiment untersucht. Es ergab sich, daß die Sauerstoffaufnahme der Hülle die Geschwindigkeit regelt. Der Sauerstofftransport von (U<sub>0,8</sub>Pu<sub>0,2</sub>)O<sub>2-x</sub> zur Hülle über die Gasphase wird bei O/M-Verhältnissen <1,96 vernachlässigbar klein.

Untersuchungen über die Wechselwirkung zwischen Spaltprodukten oxidischer Brennstoffe und Edelstahlhüllen zeigen, daß bei Innenwandtemperaturen über 600°C bedeutende Wechselwirkungen zwischen Brennstoff und Hülle stattfinden und Eindringtiefen von 100 µm sogar bei Abbränden unter 5 At % auftreten können. Der Hüllenangriff ist hauptsächlich von dem im Brennstoff vorhandenen überschüssigen Sauerstoff abhängig, und das gilt unabhängig davon, ob er schon am Anfang vorhanden war oder während der Bestrahlung gebildet wurde. Der Hüllenangriff kann durch Einsatz eines stark unterstöchiometrischen Mischoxidbrennstoffs und außerdem durch Hinzufügen von Gettermaterialien, beispielsweise Titan, Niob, Vanadium und Zirkonium zum Brennstoff, verringert werden.

### 2.2.2 Korrosionsversuche in Edelgasen mit bekanntem Verunreinigungsgrad

Es wurde mit Hochtemperaturkorrosionsexperimenten im Labormaßstab an den austenitischen Edelstahlsorten

- 1) Werkstoff Nr. 1.4970 (X10 Ni Cr Mo Ti B 1515),
- 2) Werkstoff Nr. 1.4981 (X8 Cr Ni Mo Nb 1616),
- 3) Werkstoff Nr. 1.4988 (X8 Cr Ni Mo VNb 1613),

in einer Edelgasanlage mit bekanntem Verunreinigungsgehalt begonnen.

Folgende Bedingungen herrschten bei den Tests mit Sandvik-Stahl 15-15 Cr Ni (1.4970):

Medium:	Argon
Temperatur:	700°C
Gasdruck:	1,2 at
Gesamtkonzentration oxidierender Verunreinigungen (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O):	5-50 vpm
Gasgeschwindigkeit:	0,03-0,35 m/s

Kurzzeitexperimente von 70 h Dauer führten zu Gewichtszunahmen von 5-8 mg/dm<sup>2</sup>, was einem Metallverlust von 13-20 mg/dm<sup>2</sup> entspricht. Es gab keinen Hinweis dafür, daß die Geschwindigkeit oder das Ausmaß der Reaktion abhängig ist von der Konzentration oder der Gasgeschwindigkeit. Langzeitversuche von 1000 h Dauer

führten zu Gewichtszunahmen von 10-15 mg/dm<sup>2</sup>, was einen Metallverlust von 25-38 mg/dm<sup>2</sup> entspricht. Im zweiten Durchlauf von 500 h Dauer ergab sich eine Verringerung der Sauerstoffaufnahme auf 0,5 mg/dm<sup>2</sup>, was einem Metallverlust von 1,28 mg/dm<sup>2</sup> entspricht. Das weist mehr auf ein parabolisches als auf ein lineares Korrosionsratengesetz hin. Das parabolische Gesetz kann die bisher beobachtete, bedeutende Verringerung der Korrosionsrate beschreiben.

In den in Aussicht genommenen Experimenten soll der technische Verunreinigungsgrad (1-10 vpm bei 100 at) nahezu erreicht werden.

## 2.3 Auslegungs- und Sicherheitsuntersuchungen

### 2.3.1 Karlsruhe-Siemens-Studie

Im Januar 1972 wurde ein Zusammenarbeitsvertrag zwischen dem Kernforschungszentrum Karlsruhe und der Firma Siemens unterzeichnet. Die beiden Vertragspartner arbeiten bei der Auslegung des Primärheliumkreises und des Reaktors eines 1000 MWe gasgekühlten schnellen Reaktors mit Dampfturbine sowie bei den dazugehörigen Sicherheitsuntersuchungen zusammen. Die Zusammenarbeit erstreckt sich auch auf die Analyse schwerer Unfälle und die Untersuchung der Dynamik des Primärheliumkreises.

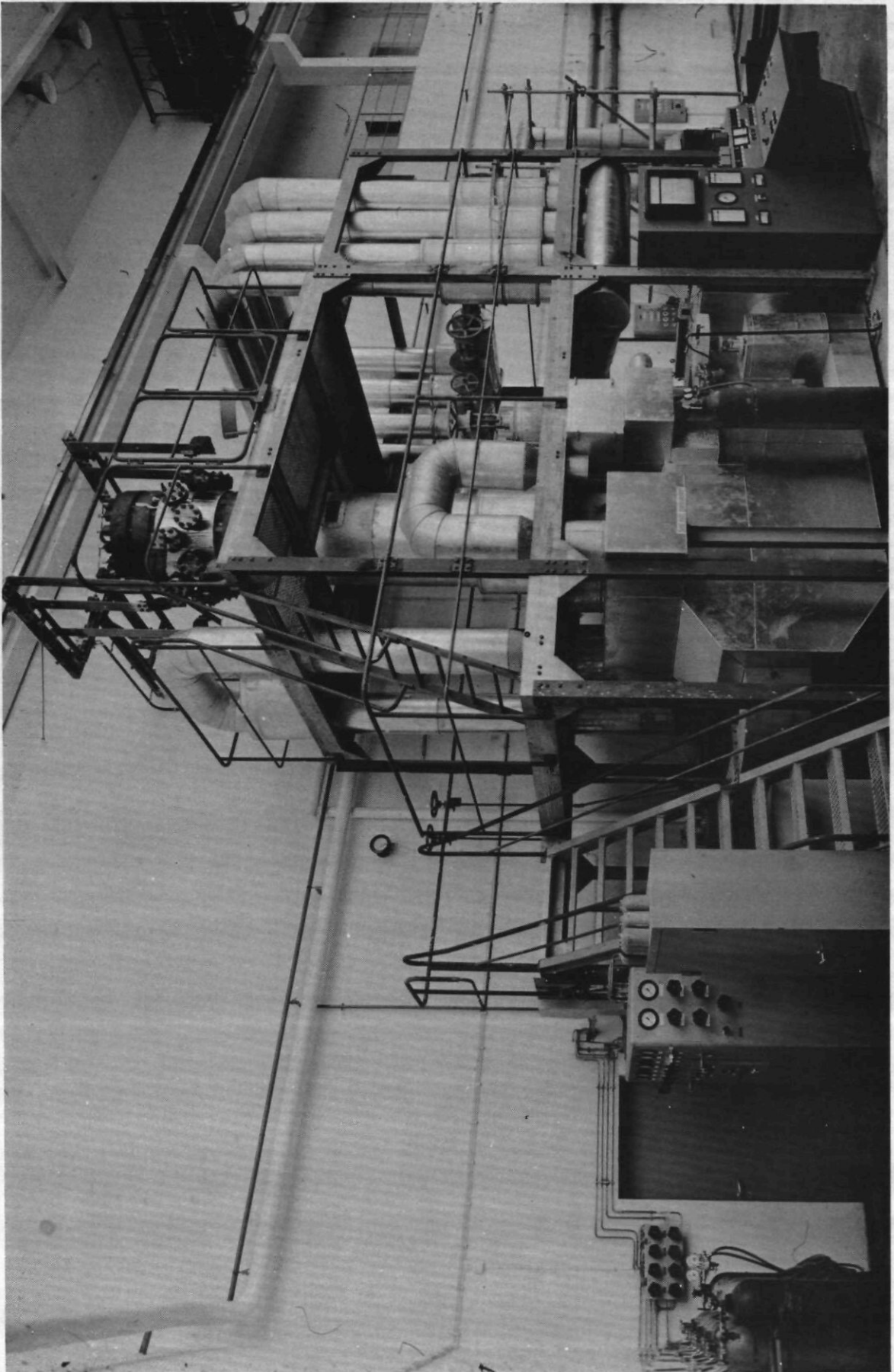
Im Rahmen des Abkommens führte Siemens Optimalisierungs- und Auslegungsuntersuchungen durch. Die Arbeiten der Firma Siemens auf dem Gebiet der Sicherheit betrafen in erster Linie Transientenberechnungen für Unfälle infolge Druckverlust und Regelstabauswürfen sowie Untersuchungen über die Wasserkühlung durch Sprühanlagen und Kritikalitätsberechnungen für einen hypothetischen Unfall mit Niederschmelzen des Cores.

In Karlsruhe wurden Berechnungen über die Temperatur- und Wärme-flußverteilung in der geschmolzenen Coremasse eines gasgekühlten schnellen Reaktors durchgeführt, die als flache Konstruktion in einer eigens dafür konstruierten Auffangwanne (Core Catcher) enthalten und gekühlt ist, und zwar für mehrere Leistungsdichten der Schmelze. Außerdem wurde eine neue Methode entwickelt zur Berechnung des Neutronen-Streaming in der hexagonalen Zelle eines gasgekühlten schnellen Reaktors. Anhand dieser Methode konnten die Wirkung des Streaming auf die Neutronenleckage aus dem Core, der effektive Multiplikationsfaktor sowie die Reaktivitätskoeffizienten (Kühlmitteldichte, Dampfdichte) besser bestimmt werden.

### 2.3.2 Gasturbinenuntersuchungen

Die Gesamtauslegung eines 1000 MWe gasgekühlten schnellen Reaktors mit Gasturbine wurde 1971 abgeschlossen. Im Jahre 1972 wurden einige wichtige Komponenten im einzelnen untersucht. Es wurden Parameteruntersuchungen für den rekuperativen Wärmeaustauscher, die Turbine und die Kompressoren durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung für den rekuperativen Wärmetauscher wurden veröffentlicht, die übrigen Parameteruntersuchungen werden in Kürze veröffentlicht.

Das digitale Rechenprogramm PHAETON 1 zur Simulation des Zeitverhaltens des gesamten Kreislaufs eines gasgekühlten schnellen Reaktors mit Heliumturbine wurde weiterentwickelt. Durch die verbesserte Version sind bedeutend kürzere Rechenzeiten möglich. Es wurde eine Reihe von Unfällen simuliert, und es konnten Angaben gewonnen werden über das dynamische Verhalten des Kreislaufs in den ersten fünf Minuten nach dem Unfall (Abb. 6). Mit der Arbeit am Code PHAETON 2 für den Primärkreislauf eines gasgekühlten schnellen Reaktors mit Dampfturbine wurde begonnen. Die Entwicklung von PHAETON 2 gehört in das Zusammenarbeitsprogramm Karlsruhe-Siemens.



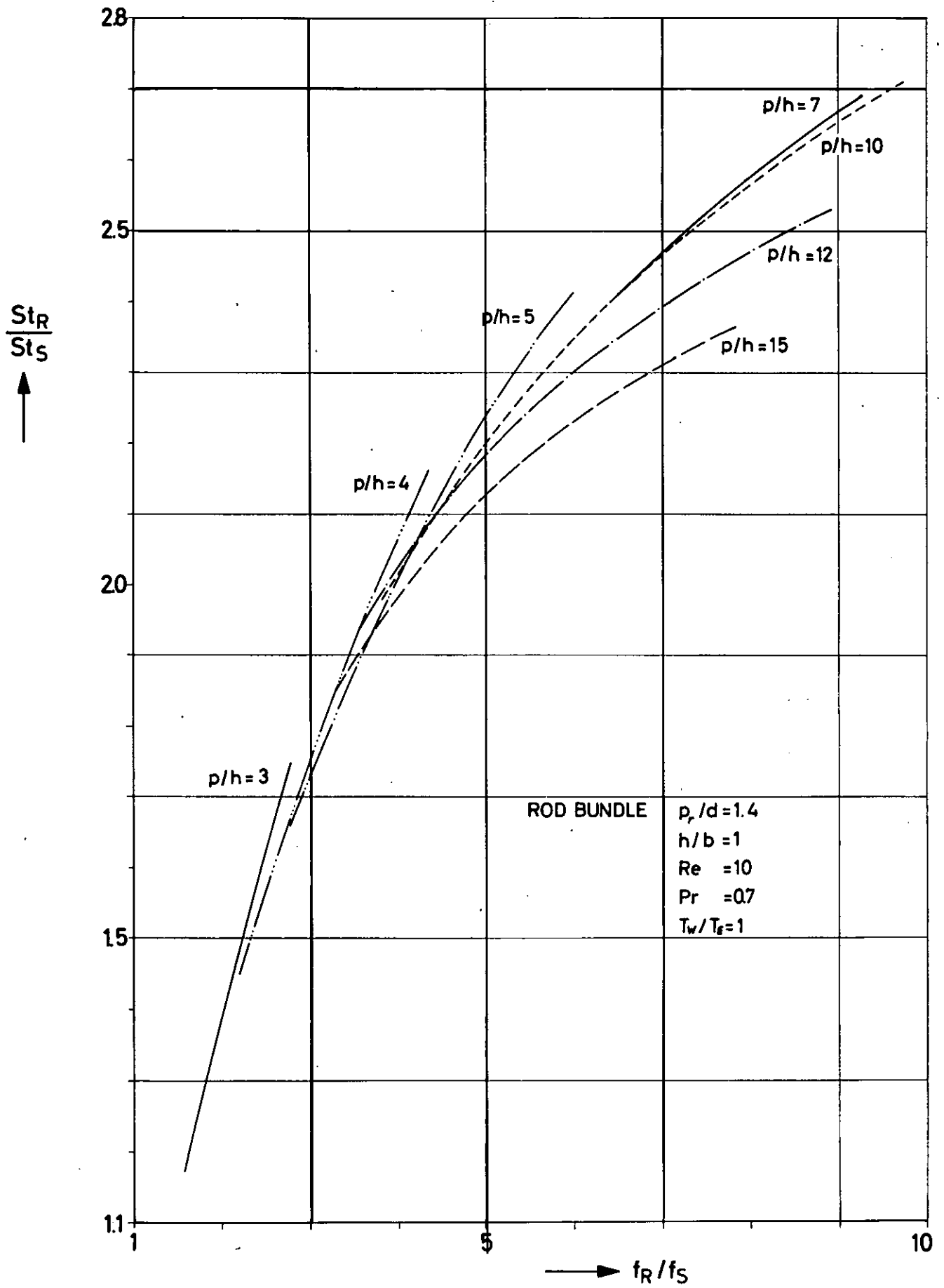


Abb. 2

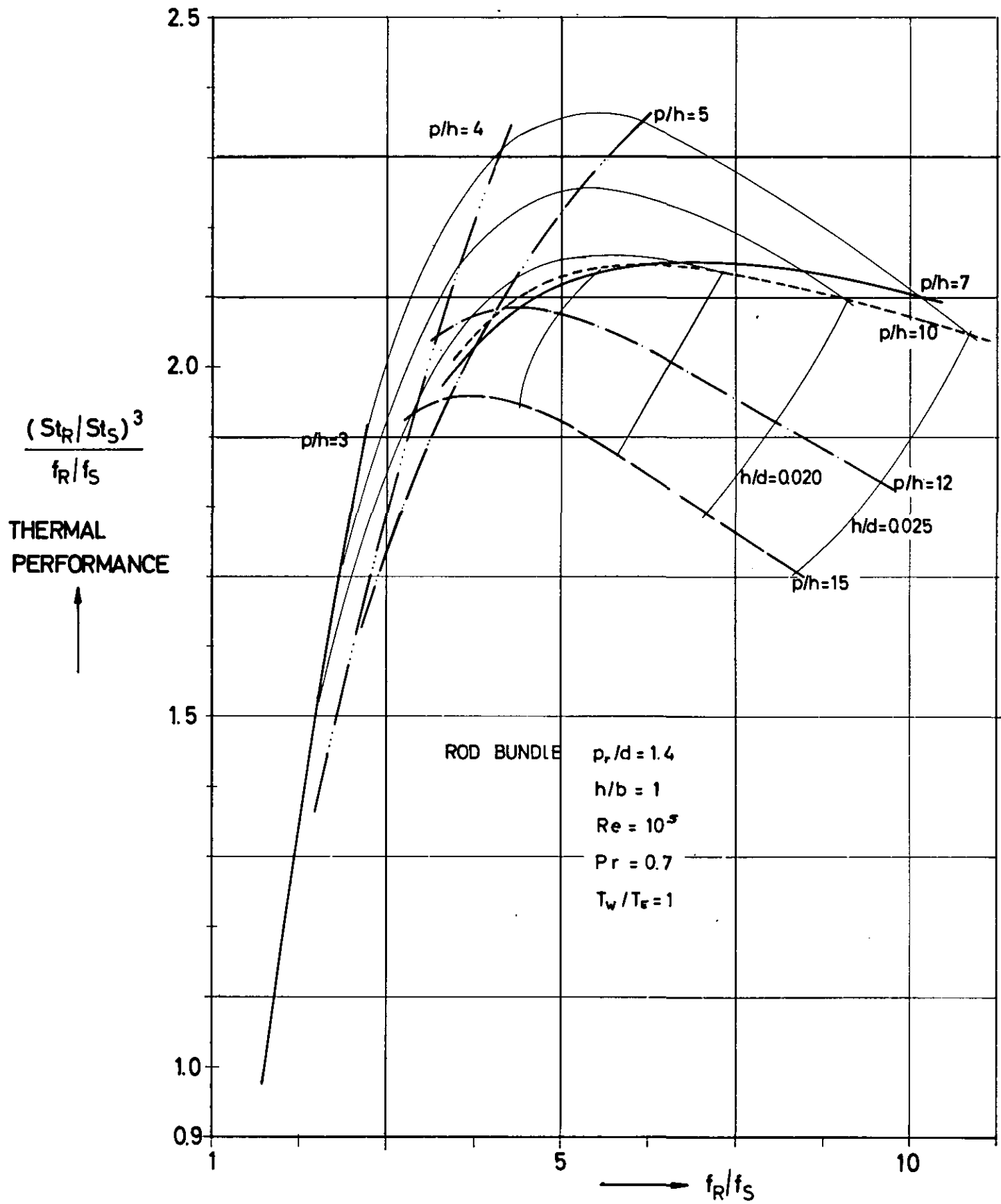


Abb. 3

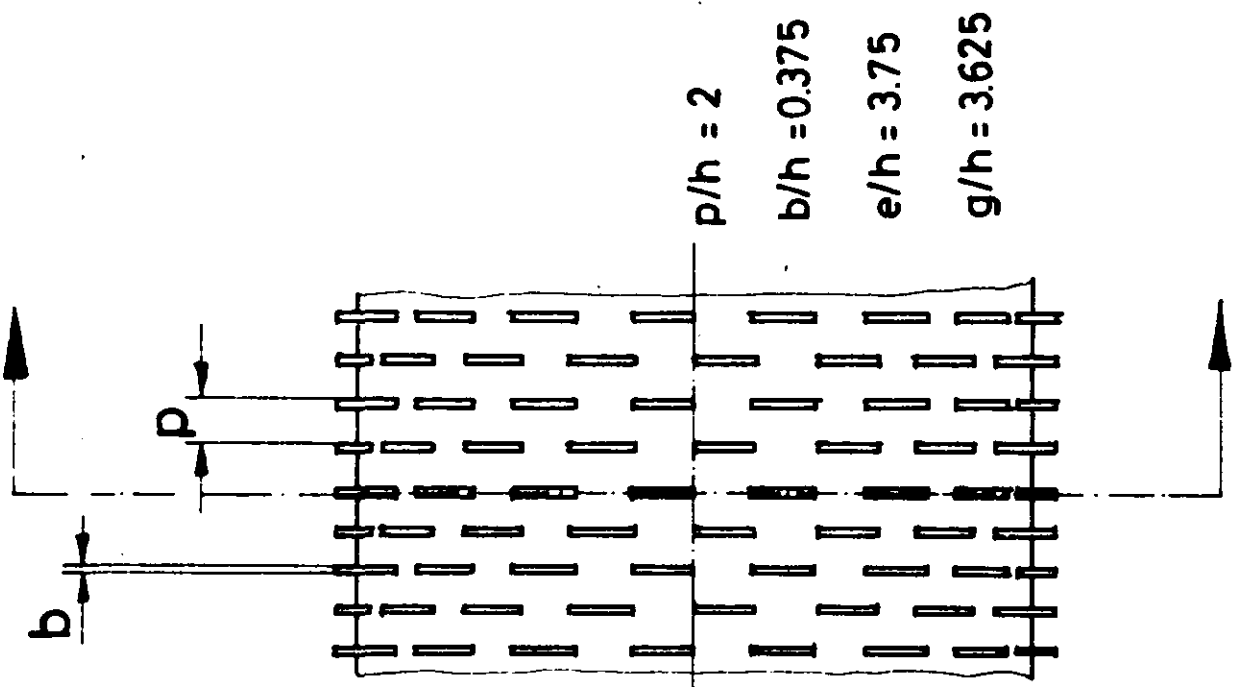
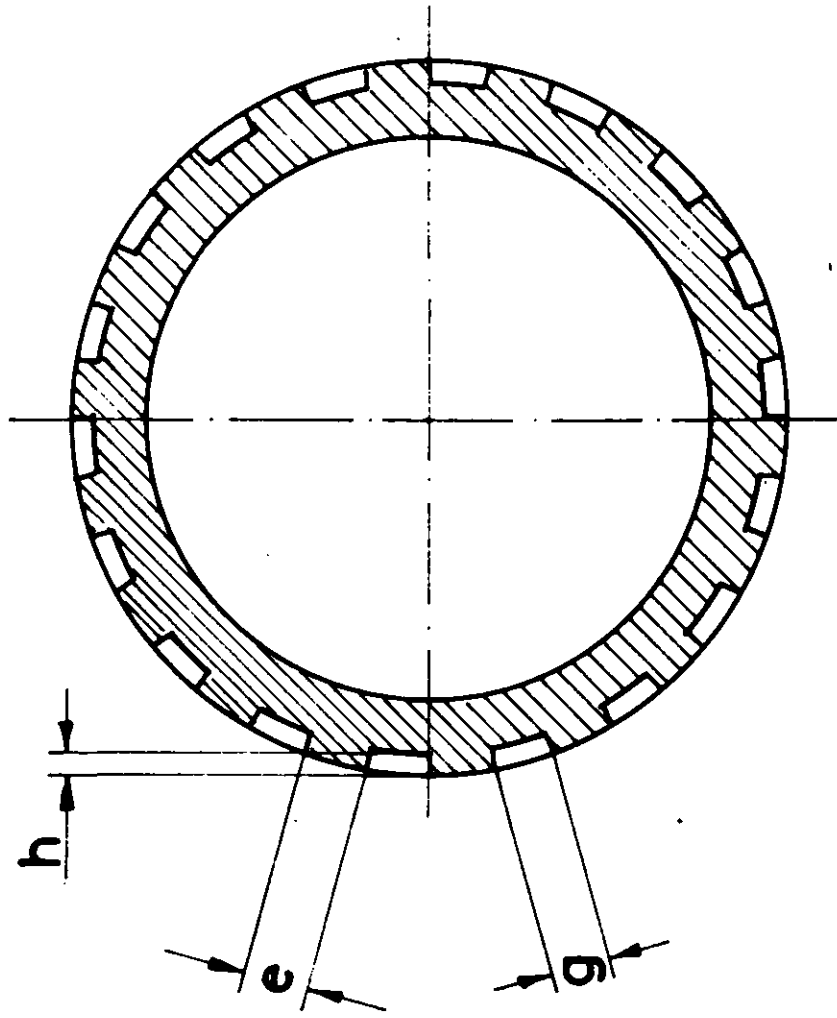
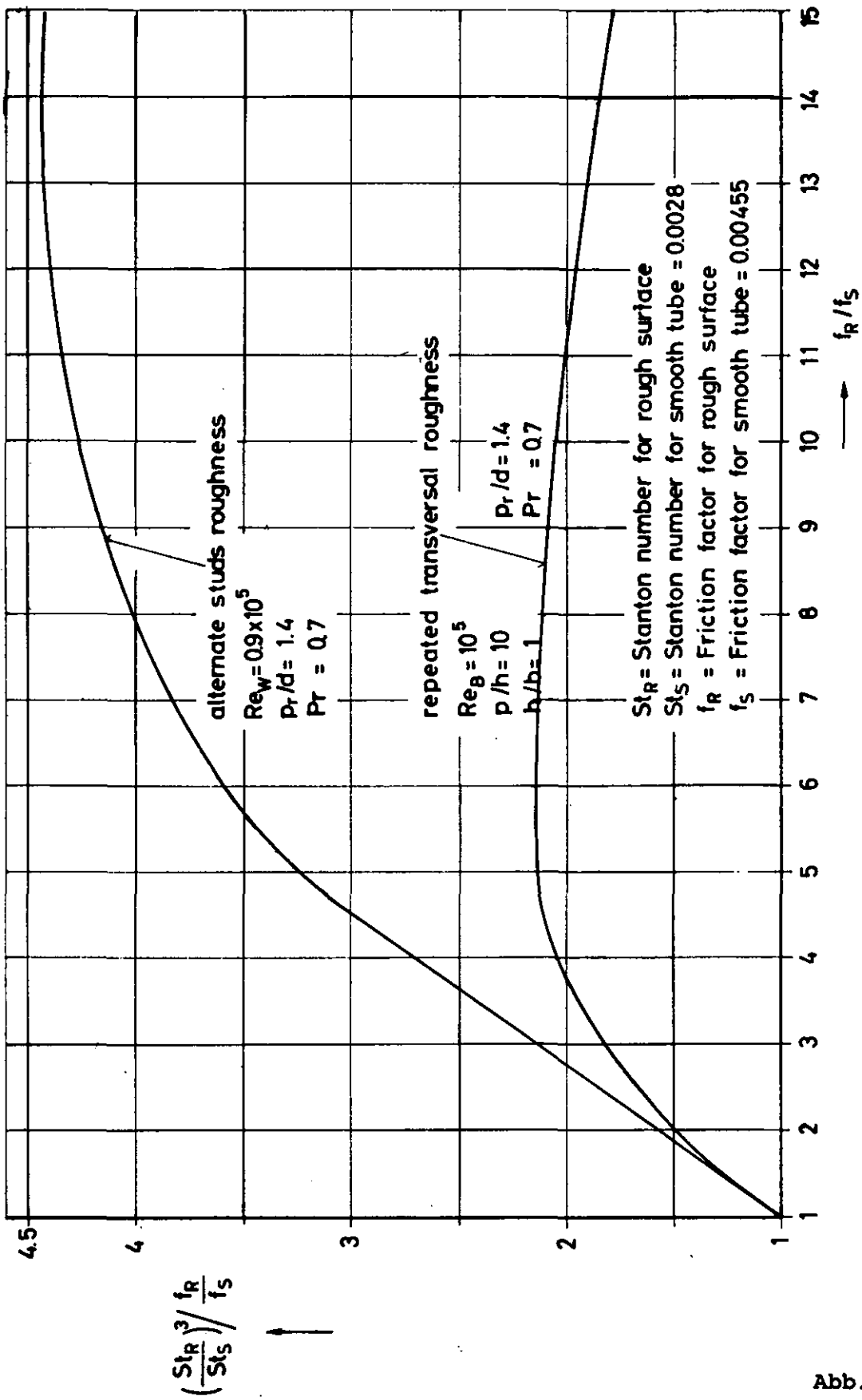
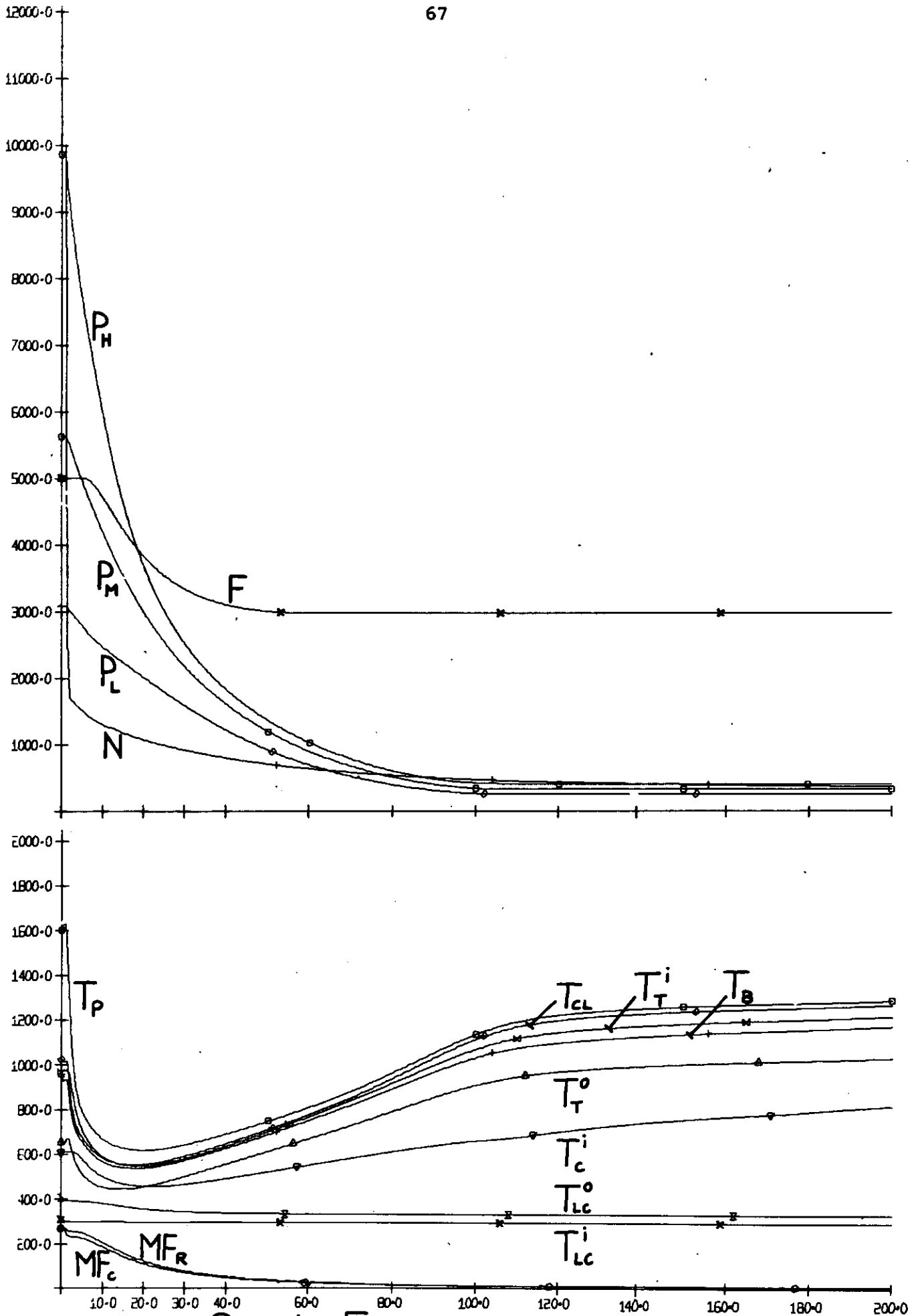


Abb. 4



ROUGHNESS THERMAL PERFORMANCE





## 11. HAUPTKREISLAUF

W. Krug, KFA-IRW

Im Hauptkreislauf wird das zur Kühlung des Brennelementes verwendete Helium durch drei in Reihe geschaltete Gebläse umgewälzt. Seine Hauptaufgabe ist die Einstellung der spezifizierten Brennstaboberflächentemperaturen.

Die wesentlichen Bestandteile des Hauptkreislaufes sind, wie Sie aus folgendem Dia (Abb. 1) ersehen können, die drei Gebläse BL1-3, der Wasserkühler Cl, der Heizer H1, das mechanische Filter Fl, die Inpile-Strecke mit dem Testbrennelement, verschiedene Ventile und das Hilfsgebläse BLX.

Bei einem Vergleich der Kreislaufschemas des alten CO<sub>2</sub>-Kreislaufs und des He-Kreislaufs würden Sie erkennen, daß für den He-Kreislauf lediglich ein Teil der Rohrleitungen und Ventile, der Heizer, das Filter und die Hilfskühlung mit dem Hilfsgebläse übernommen werden können. Die übrigen Bestandteile müssen auf Grund der neuen Auslegung zur Anpassung an die neuen Betriebsbedingungen entweder ausgebaut bzw. ausgetauscht (Gebläse, Kühler, IPS) oder ergänzt (Ventile) werden. Bei den verbleibenden Ventilen werden auf Grund bisheriger Erfahrungen die Ventileinsätze, beim Filter der Filtereinsatz ausgetauscht.

Die drei Gebläse sind gasgelagert mit einer maximalen Drehzahl von 15.000 U/min und einer maximalen Leistung von je ca. 52 kW. Sie sind so ausgelegt, daß zwei laufende Gebläse den erforderlichen Durchsatz erzielen können. Das dritte Gebläse dient als Reserve. Es ist jedoch aus sicherheitstechnischen Gründen vorgesehen, alle drei Gebläse gleichzeitig bei entsprechend reduzierter Drehzahl laufen zu lassen. Bei Ausfall eines Gebläses wird die Drehzahl der restlichen zwei automatisch erhöht, so daß der Durchsatz konstant bleibt. Dies erfolgt durch eine Durchsatzkonstantregelung, welche über die Drehzahl der Gebläse wirkt und diese steuert. Die Gebläse werden durch gleichstromgetriebene dynamische Frequenzgeneratoren angetrieben, über welche die Drehzahl der Gebläse zwischen 3.000 und 15.000 U/min einstellbar ist. Diese Gebläseantriebe werden ebenfalls neu erstellt bis auf die alten Frequenzgeneratoren, die hierfür wiederverwendet werden.

Eine der grundlegenden Sicherheitsanforderungen an das Experiment verlangt eine ununterbrochene Kühlung des Brennelementes während der vollen Betriebszeit. Dadurch soll auch bei abgeschaltetem Reaktor eine Überhitzung des Brennelementes, bedingt durch die Nachwärme, und ein Ausfall des Brennelementbelüftungssystems mit einer damit verbundenen Kontamination des Kühlgases vermieden werden. Erreicht wird dies dadurch, daß eins der drei Gebläse immer an das Reservenetz (Vitalnetz) gekoppelt ist, so daß bei Ausfall des Normalnetzes die Kühlung des Brennelementes durch dieses Gebläse aufrechterhalten wird. Erst bei Ausfall aller drei Hauptgebläse erfolgt eine automatische Umschaltung auf das Hilfsgebläse. Damit verbunden ist eine Abtrennung des Hilfskühlkreislaufs vom Hauptkreislauf, indem die Ventile M1 und M2 geschlossen werden.

Der Heizer H1 ist für den Normalbetrieb nicht erforderlich. Lediglich bei Betrieb ohne Brennelement oder bei niedriger Brennelementleistung dient er zur Einstellung höherer Gastemperaturen. Er kann dem Gas eine Leistung bis zu 140 kW zuführen. Durch das mechanische Filter F1 werden alle Schwebstoffe herausgefiltert. Sollte sich das Filter zusetzen, d. h. sollte der Druckabfall im Filter zu groß werden, wird das im Bypass befindliche Ventil M6 geöffnet, so daß eine dadurch evtl. hervorgerufene Betriebsstörung vermieden wird.

Über den Kühler C1, ein wassergekühlter Bündelrohrgegenstrom-Wärmeaustauscher, wird die Brennelementleistung an das Kühlwasser abgeführt. Durch das Dreiwegeregelventil M9 kann die Leistungsabfuhr durch eine Teilung des Gasstromes durch Kühler und Bypass so gesteuert werden, daß die Gasaustrittstemperatur am Brennelement konstant geregelt werden kann. Das Regelventil M10 im Bypass dient zur Angleichung der Strömungswiderstände im Kühler und im Bypass, um eine einwandfreie Funktion des Dreiwegeventils zu gewährleisten.

Der Kühler ist für eine maximale Eintrittstemperatur von 600°C ausgelegt. Im Störfall (Rohrbruch) ist der Kühlermantel in der Lage, kurzzeitig den vollen Betriebsdruck des Hauptkreislaufes aufzunehmen.

Das Drosselventil M11 hinter dem Kühler dient zur Einstellung des Druckgefälles zwischen Brennelementaustritt und Gebläseeintritt, das die treibende Druckdifferenz für das Spaltgassammelsystem darstellt. Diese Druckdifferenz soll bis zu 1,5 atm betragen können. Zwei Sicherheitsventile schützen den Kreislauf gegen Überdruck. Sie blasen in die Ventilation ab.

Die im Kreislauf vorhandenen Ventile sind überwiegend pneumatisch betätigte Ventile. Sie sind so ausgelegt, daß sie im Störfall, z. B. Ausfall der Druckluft, eine für die Funktion des Kreislaufs sichere Stellung einnehmen, d. h. i. a. sie bleiben offen bzw. sie öffnen sich. Dadurch wird eine Unterbrechung der Kühlung vermieden.

Für die Einstellung und Bestimmung der Brennstaboberflächentemperaturen sind die drei Betriebsgrößen Druck, Gastemperatur und Durchsatz maßgebend. Bei konstantem Betriebsdruck wird die Stabtemperatur nur von Durchsatz und Gastemperatur beeinflusst. Diese drei Betriebsgrößen werden im Hauptkreislauf mehrfach gemessen, registriert und überwacht.

An folgenden Stellen im Kreislauf werden die Gastemperaturen gemessen: Brennelementein- und -austritt, IPS-Ein- und -Austritt, vor und hinter den Gebläsen und in den Gebläsen. Die höchste Gastemperatur im Kreislauf herrscht am Brennelementaustritt. Sie darf aus sicherheitstechnischen Gründen 600°C nicht überschreiten. Gleichzeitig ist sie die Bezugstemperatur für die Temperaturregelung, d. h. die IPS-Austrittstemperatur wird konstant geregelt. Als maximale Betriebstemperatur wurden hierfür 580°C festgelegt. Brennelementeintritts- und austrittstemperatur, d. h. genauer gesagt ihre Temperatur-Differenz, gehen in die Berechnung der Brennelementleistung ein, die über die Wärmebilanz des Heliums bestimmt wird.

Die Temperatur vor den Gebläsen wird überwacht, da die maximal zulässige Betriebstemperatur für die Gebläse 400°C beträgt. Bei Erreichen dieser Temperatur erfolgt die automatische Schließung

des Bypasses am Wärmetauscher durch das Dreiwegeventil M9, wodurch die Gastemperatur gesenkt wird. In den Gebläsen selbst werden die Lager- und Wicklungstemperaturen gemessen, die bei Überschreitung eingestellter Grenzwerte zur Abschaltung des betreffenden Gebläses führen.

Der Durchsatz im Hauptkreislauf wird durch zwei Meßdüsen, die hinter den Gebläsen und vor der IPS eingebaut und an die je zwei Mengenmeßgeräte (FRCAS1 und FRCAS5) angeschlossen sind, gemessen und überwacht. Diese Geräte sind druck- und temperaturkorrigiert, so daß sie in einem weiten Bereich ( $\pm 25\%$ ) unabhängig vom jeweiligen Betriebszustand den wahren Durchsatz anzeigen. Drei dieser Meßstellen übernehmen die Durchsatzüberwachung, -messung und -registrierung. Die vierte Meßstelle schaltet bei Unterschreitung einer Mindestmenge das Hilfsgebläse ein. Damit verbunden ist eine Abtrennung des Hauptkreislaufes vom Hilfskühlkreislauf, indem die Ventile M1 und M2 geschlossen und M8 geöffnet werden. Die Mengenkonstantregelung, die über die Drehzahl der Gebläse wirkt, sorgt für einen konstanten Durchsatz unabhängig von Druck-, Temperatur- und Widerstandsänderungen im Kreislauf.

Der Betriebsdruck wird im Kreislauf am IPS-Austritt, vor und hinter den Gebläsen gemessen und überwacht. Der Druck am IPS-Austritt dient als Referenzdruck für die Druckregelung, die den Betriebsdruck konstant regeln soll.

Bei der Einzelstabbestrahlung GB9 der GGA im Oak Ridge Research Reactor (ORR) hatte sich gezeigt, daß die Spaltgasfreisetzung aus dem Brennstab sehr empfindlich auf Druckänderungen reagierte, d. h. der Brennstab atmete. Um diesen Effekt möglichst zu vermeiden, wurde auf die Druckregelung ein besonderes Augenmerk gerichtet. Sie wird als kontinuierlich arbeitende Regelung ausgelegt. In die Einspeisungs- und Abblasleitungen werden Feinregelventile eingebaut. Damit soll einmal eine Druckkonstanz von  $\pm 0,1$  atm erreicht und zum anderen jede sprunghafte Druckänderung vermieden werden. Während des Betriebes kann und soll untersucht werden, in welchen Grenzen der Betriebsdruck schwanken darf, ohne daß das Brennelement merklich atmet. Die hierbei gewonnenen Erfahrungen können später für die Auslegung der Druckregelung von Großanlagen und deren Betrieb verwendet werden.

Im Hauptkreislauf sind verschiedene Differenzdruckmeßstellen vorhanden, denen z. T. eine besondere Bedeutung zukommt. So wird der Druckabfall im Brennelement gemessen, um eine evtl. Langzeitänderung des Profils der künstlichen Oberflächenrauigkeit der Brennstäbe qualitativ erfassen zu können. Dies ist möglich, da eine solche Profiländerung mit einer entsprechenden Veränderung des Druckverlustes verbunden ist. Da der Druckabfall in der rauen Zone ca. 60% des Gesamtdruckabfalls im Brennelement ausmacht, muß eine zeitliche Änderung des Profils meßtechnisch erfaßbar sein. Weiterhin wird die an der Spaltgasübertrittsstelle auftretende Druckdifferenz (0,2 atm) gemessen. Durch Veränderung dieser Druckdifferenz sollen die Grenzen für die Wirksamkeit der Spaltgasübertrittsstelle ermittelt werden.

Weitere Differenzdruckmeßstellen an den Gebläsen, am Filter F1 und an der IPS dienen zur Überwachung dieser Bauteile.

Der Hauptkreislauf ist für einen maximalen Betriebsdruck von 67 ata (Einstellung der Sicherheitsventile) und eine maximale IPS-Austrittstemperatur von 600°C ausgelegt. Der vorgesehene Betriebsdruck beträgt 61 ata.

Der Hauptkreislauf hat ein Gesamtvolumen von ca. 1,3 m<sup>3</sup>. Bei einer mittleren Gastemperatur von 300°C sind bei Betriebsdruck ca. 40 Nm<sup>3</sup> Helium in ihm enthalten.

Die im Kreislauf vorhandene mittlere Gasgeschwindigkeit beträgt 13 m/s, die maximale Geschwindigkeit von ca. 100 m/s herrscht im Brennelement.

Im Normalbetrieb müssen die Gebläse einen Gesamtdruckverlust im Kreislauf von ca. 4 atm überwinden. Davon entfallen ca. 2,5 atm Druckverlust auf das Brennelement.

Das nächste Dia (Abb. 2) zeigt typische Temperatur- und Druckverläufe im Kreislauf für maximale Staboberflächentemperaturen von 600 und 700°C bei einer Stableistung von 500 W/cm.

Wir erkennen eine Druckerhöhung in den Gebläsen von ca. 4 atm. Der Hauptanteil der Druckverluste tritt im Brennelement auf und ein weiterer geringerer Teil im Drosselventil M11. In den Rohrleitungen und den übrigen Bauteilen sind geringe Druckverluste vorhanden.

Beim Temperaturverlauf wird die He-Temperatur im Brennelement von ca. 350 auf 580°C erhöht. Der Temperaturverlauf in der IPS zeigt, daß diese als Rekuperativ-Wärmeaustauscher wirkt. In den Rohrleitungen erfolgen geringe Temperaturabsenkungen durch Wärmeverluste in die Umgebung. Der Hauptteil der Wärme wird im Wärmeaustauscher an das Kühlwasser abgeführt.

Abschließend noch kurz etwas zum Stand der Arbeiten.

Für den Hauptkreislauf sind die Planungs-, Entwurfs- und Auslegungsarbeiten abgeschlossen, d. h. das Entwurfsstadium ist beendet. Die wesentlichsten Komponenten, wie Gebläse, Kühler, Ventile, sind bestellt worden. Zur Zeit werden die Konstruktions- und Baupläne erstellt und die Demontage- und Umbauarbeiten vorbereitet.

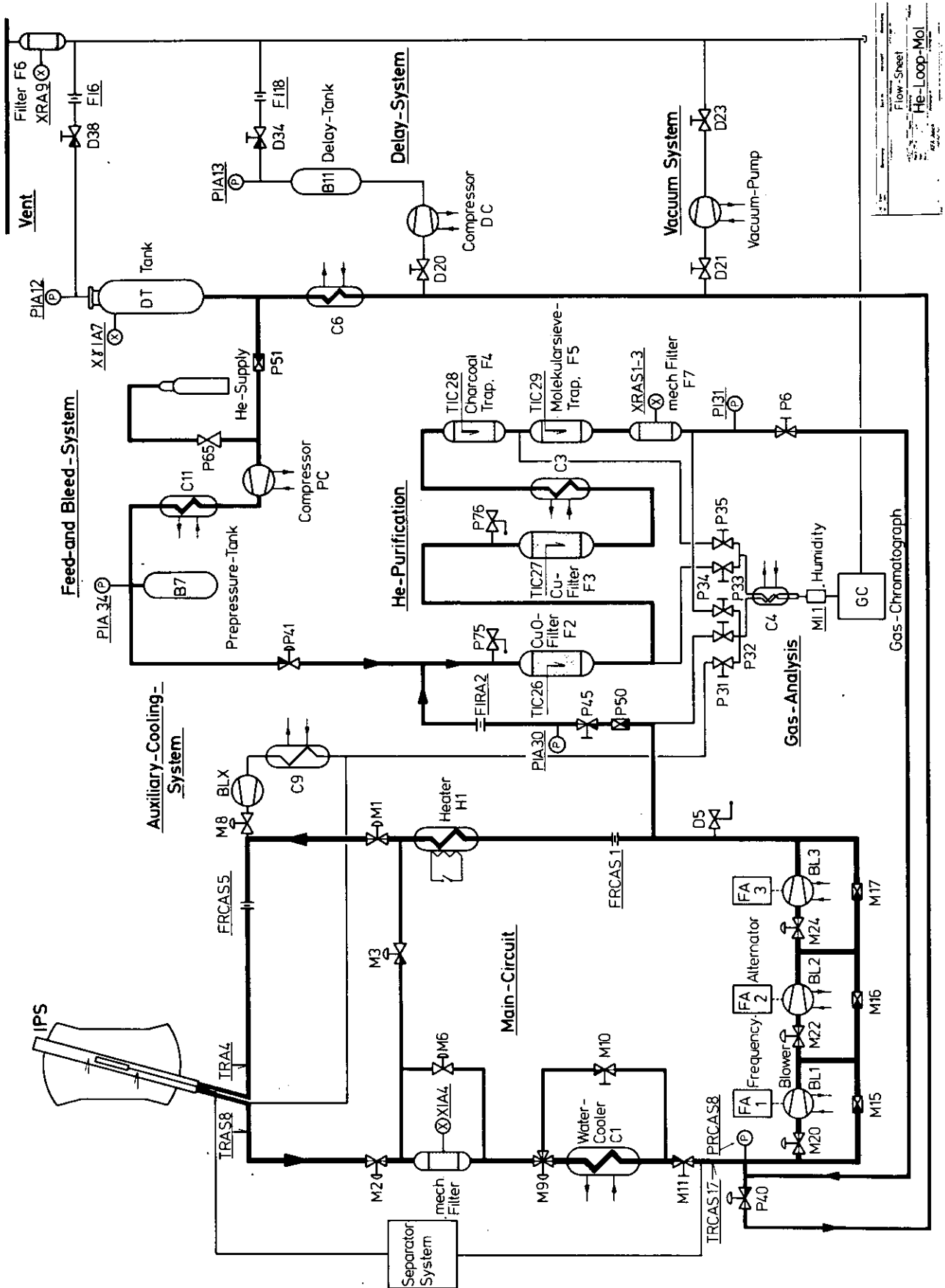
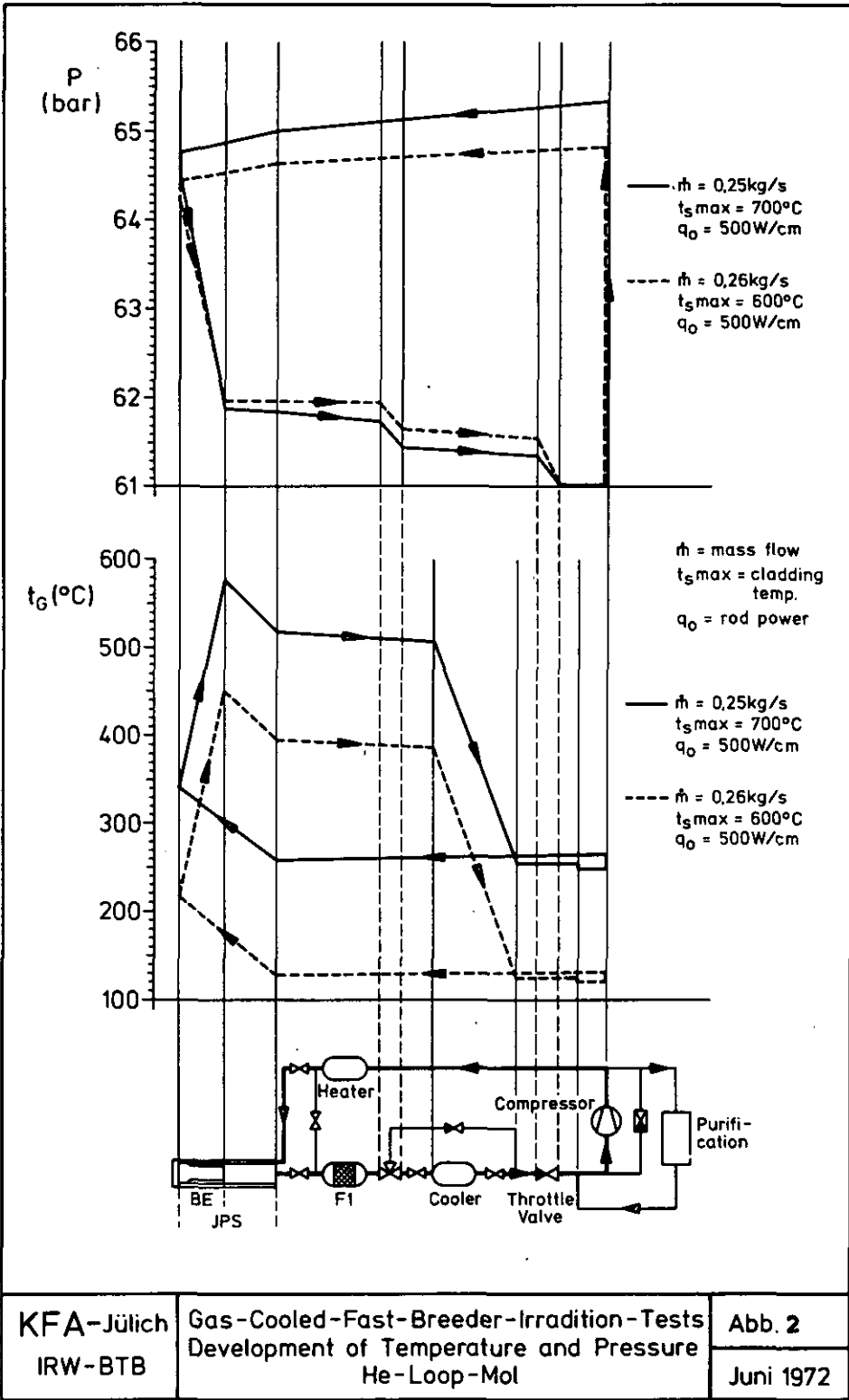


Abb. 1



## 12. SPALTGASSAMMELSYSTEM

H. Stechemesser, KFA-ZIR

Das SPAGS ist als Bypass parallel zum Hauptkreislauf geschaltet (Abb. 1). Es wird von der Druckdifferenz Ausgang BE bis Eingang Gebläse beaufschlagt.

Die Aufgabe des SPAGS ist die quantitative Sammlung aller aus den belüfteten Test-BE freigesetzten gasförmigen Spaltprodukte, d. h. der verschiedenen Kr, Xe-Isotope und des Tritiums. Diese gasförmigen Spaltprodukte wandern bei intakten BE-Pins durch Diffusion bis an die Spaltgasübertrittsstelle zwischen dem Kopf des BE und Gegenstück an der IPS. Die Diffusionszeit aus dem Brennstoff durch das Blanket, das A-Kohlefilter des BE-Pins und das zentrale A-Kohlefilter des BE bis an die Spaltgasübertrittsstelle beträgt ca. 2 Tage. Bei einem defekten Pin mit einem Riß der Hülle im Bereich des Brennstoffes tritt dagegen ein Massentransport durch einströmendes He ein, der zu einem unmittelbaren Ausspülen der Spaltgase innerhalb einiger Sekunden führen kann. An der Spaltgasübertrittsstelle wird durch eine definierte Leckstelle etwas Helium dem Spaltgas zugemischt, so daß die Spaltgase möglichst schnell in die Adsorptionsfallen des SPAGS transportiert werden. Dieses Solleck läßt 0,2 g/s Helium einströmen. Bei defektem BE-Pin können durch den Pin noch zusätzlich 0,8 g/s hinzukommen, so daß ca. 1 g/s He zum SPAGS strömen.

Das SPAGS (Abb. 2) umfaßt die Leitungen von der IPS bis zum Wiedereintritt in den Kühlkreislauf vor den Gebläsen, ein Spaltgasmeßsystem, diverse Hilfssysteme, wie Vakuumsystem, Spaltgaslager-system, die Instrumentierung mit Meß-, Regel-, Steuer- und Sicherheitssystemen und das eigentliche Spaltgassammelsystem. Das SPAGS hat folgende Auslegungsdaten: Es kann die gesamte Spaltgasmenge, die in 11 intakten und einem defekten BE-Pin freigesetzt wird, quantitativ zurückhalten, d. h. vom transportierenden He-Strom separieren. Dabei wird eine Release to Birth Rate von 50% zugrunde gelegt.

Das SPAGS (Abb. 3) soll die Spaltgase Kr, Xe und das Tritium zurückhalten. Der vom BE kommende Heliumgasstrom wird in einem Kühler von ca. 300°C auf ca. 50°C abgekühlt und danach durch ein beheiztes CuO-Bett geleitet, worin das Tritium zu überschwerem Wasser oxidiert wird. Im nachgeschalteten Molekularsiebfilter wird das überschwere Wasser zusammen mit evtl. vorhandenem leichtem Wasser adsorbiert. Danach durchströmt das Gas ein System zur Kr- und Xe-Adsorption und wird von dem Hauptkreislauf vor den Gebläsen wieder durch Ansaugung zugeführt.

An das Kr-Xe-Adsorptionssystem wird die Sicherheitsforderung gestellt, daß es während der gesamten Einsatzdauer eines Test-BE in Betrieb ist, d. h. daß seine volle Funktion auch bei Reaktorabschaltungen, Pausen und beim Regenerieren von Fallen aufrechterhalten wird. Aus diesem Grunde sind zwei identische Fallen parallel geschaltet, die abwechselnd beaufschlagt werden. Da es für den Beladungsgrad einer Adsorptionsfalle keine praktikablen Meßmethoden gibt, d. h. die Spaltgase also ohne Vorwarnung plötzlich durch die Falle durchbrechen können, wurde eine dritte, sog. Sicherheitsfalle in Reihe nachgeschaltet. Vor die-



ser Falle wird die Gasaktivität überwacht. Bricht das Spaltgas durch, so wird es von dieser Sicherheitsfalle aufgenommen, bis auf die andere regenerierte Betriebsfalle umgeschaltet wird. Da das Verhalten dieser Adsorptionsfallen bei belüfteten BE mit untersucht werden soll, können die evtl. durchbrechenden Spaltgase durch eine Ventilschaltung zum Spaltgasmeßsystem umgeleitet werden.

Die Spaltgasadsorptionsfallen (Abb. 4) können nach jeder Bestrahlungsperiode regeneriert werden. Dabei werden die Spaltgase wieder desorbiert, können jedoch nicht sofort über das Reaktorabgassystem abgeblasen werden. Die Spaltgase werden deshalb auf Druckgasflaschen (Abb. 5) komprimiert, wo sie für weitere 90 Tage zwischengelagert werden, bis die kürzerlebigen Spaltprodukte abgeklungen sind. Danach werden sie dosiert abgeblasen.

Da das Bestrahlungsvorhaben insbesondere auch Aufschluß über die Vorgänge im Belüftungssystem des BE liefern soll, wurde ein geeignetes Spaltgasmeßsystem (Abb. 6) konzipiert. Es enthält einen Germanium-Detektor an einem kalibrierten Meßvolumen. Bei Anfall von geringen Spaltgasaktivitäten, wie z. B. bei intaktem Test-BE, wird dieses Meßvolumen direkt vom zu messenden Gas durchströmt. Ist die Aktivität dafür zu hoch, so wird eine Zwischenstufe zur Verdünnung des Gases eingeschaltet. Hierbei wird zunächst ein  $100\text{ cm}^3$ -Volumen durchströmt und dann eingeschlossen. Diese  $100\text{ cm}^3$  werden dann in ein evakuiertes  $5000\text{ cm}^3$ -Volumen entspannt, so daß sich die Gasdichte und Gaskonzentration um den Faktor 50 verringert. Durch eine Wiederholung dieses Schrittes sinkt die Gaskonzentration auf  $1/2500$ stel usw. Da bei der Entspannung die Konzentration der nur im Milli-ppm-Bereich vorhandenen Spaltgase infolge von Oberflächenadsorptionen in den beiden Volumen nicht gleich ist, wird das Gas nach jedem Entspannungsschritt von einem Kompressor durch beide Volumen zirkuliert, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat.

Wie schon erwähnt, sollen auch die längerlebigen Spaltgase bestimmt werden, die evtl. durch eine der Adsorptionsfallen durchbrechen können. Um dabei eine ausreichende Zählrate zu erzielen, werden die Isotope in einer tiefgeköhlten Adsorptionsfalle angereichert, dann desorbiert, in den Meßbehälter übergeführt und ausgemessen.

Für Vergleichsmessungen an Labormessplätzen oder als Sicherheit bei Ausfall des GE-Detektors ist noch eine sog. Handprobenentnahme vorhanden. Hier kann ein transportabler Gasbehälter von Gas durchströmt und somit gefüllt werden. Dieser Behälter wird dann von dem Leitungssystem entkuppelt und durch eine Gasschleuse aus dem Second Containment, das alle Baugruppen des SPAGS umschließt, ausgeschleust.

### Stand der Arbeiten

Die Entwürfe und Auslegungen zu den gezeigten Fließbildern sind weitgehend abgeschlossen. Teilweise, so für die Fallen, Filter und die Meßstation, sind Detailentwürfe in Arbeit. Einige kritische Komponenten werden momentan Vorversuchen unterzogen.

Die Arbeiten verlaufen termingerecht.

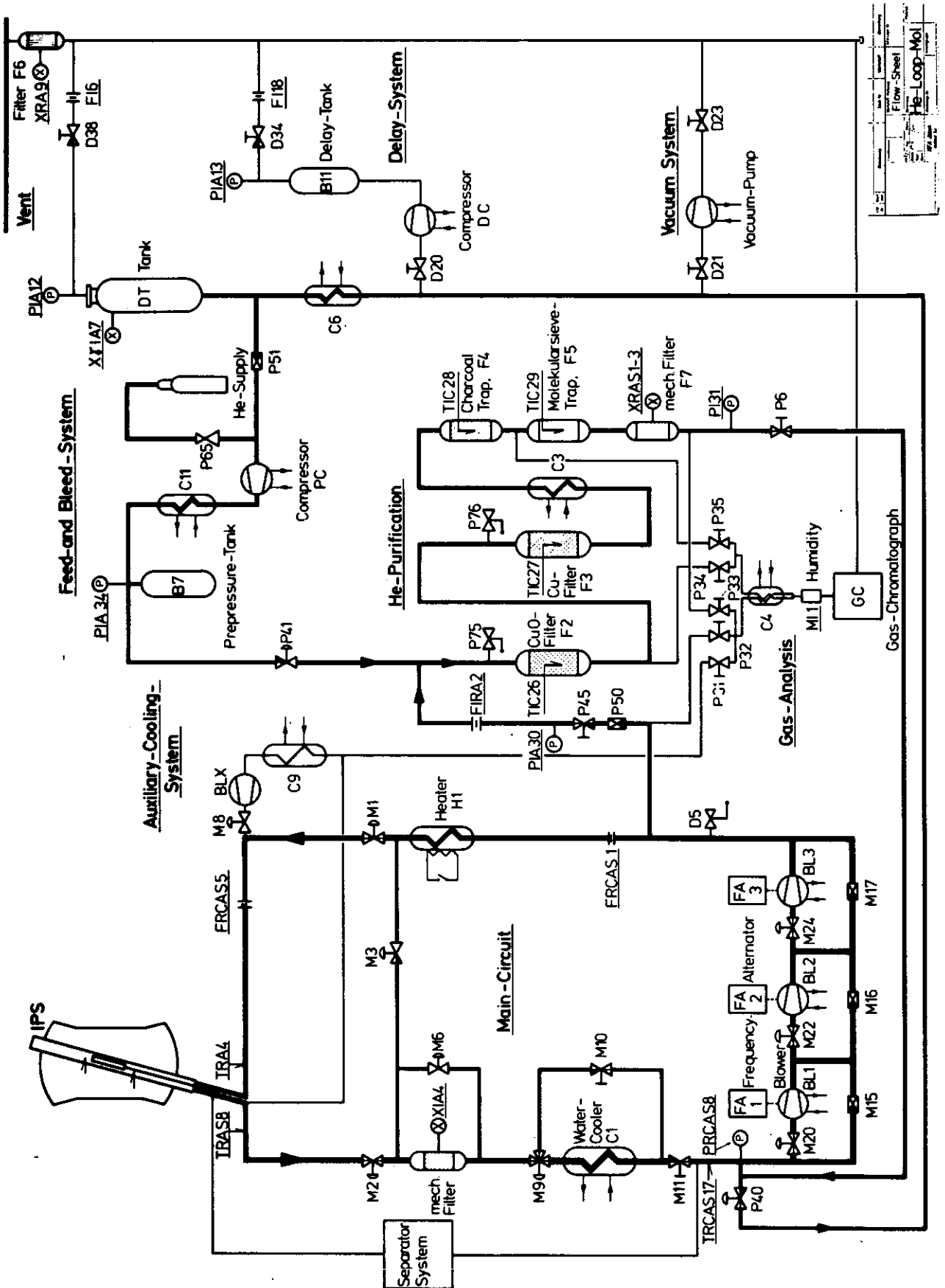


Abb. 1

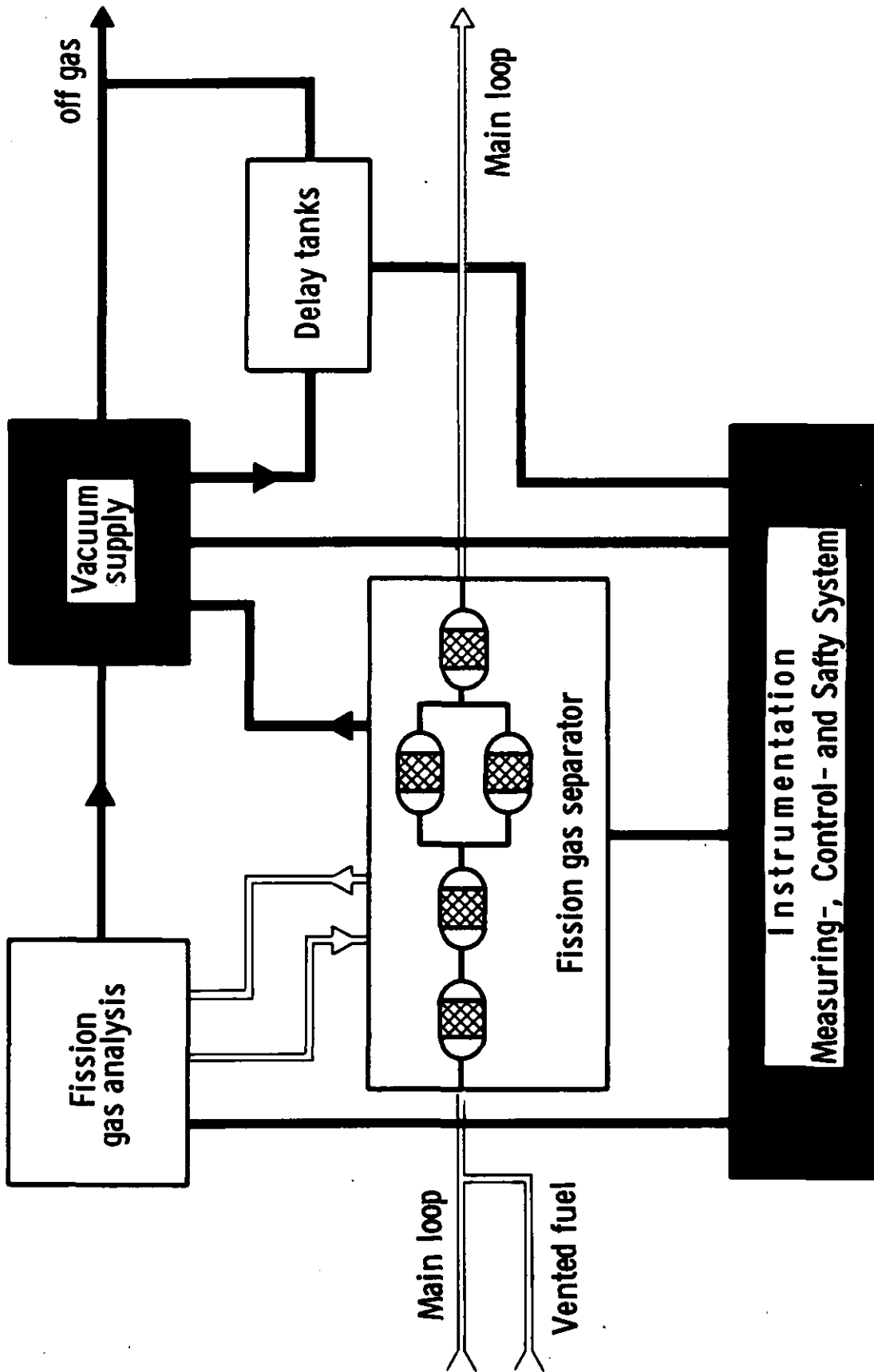
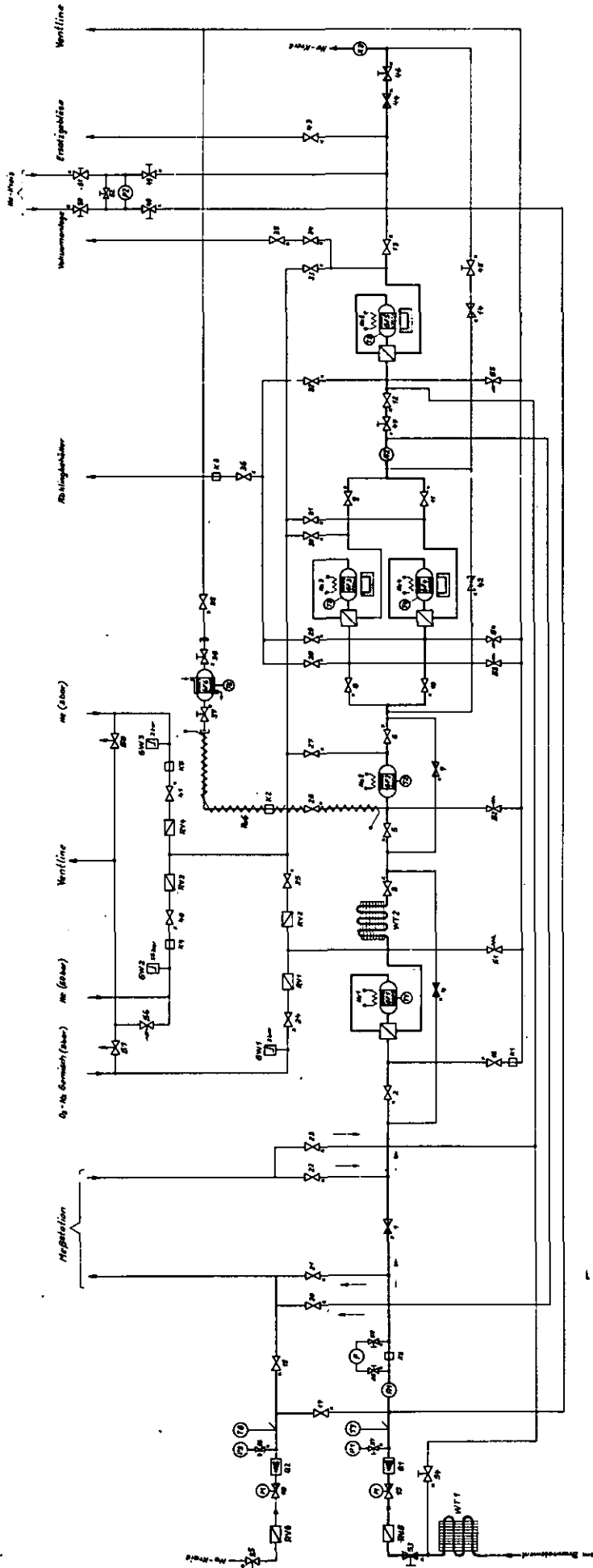
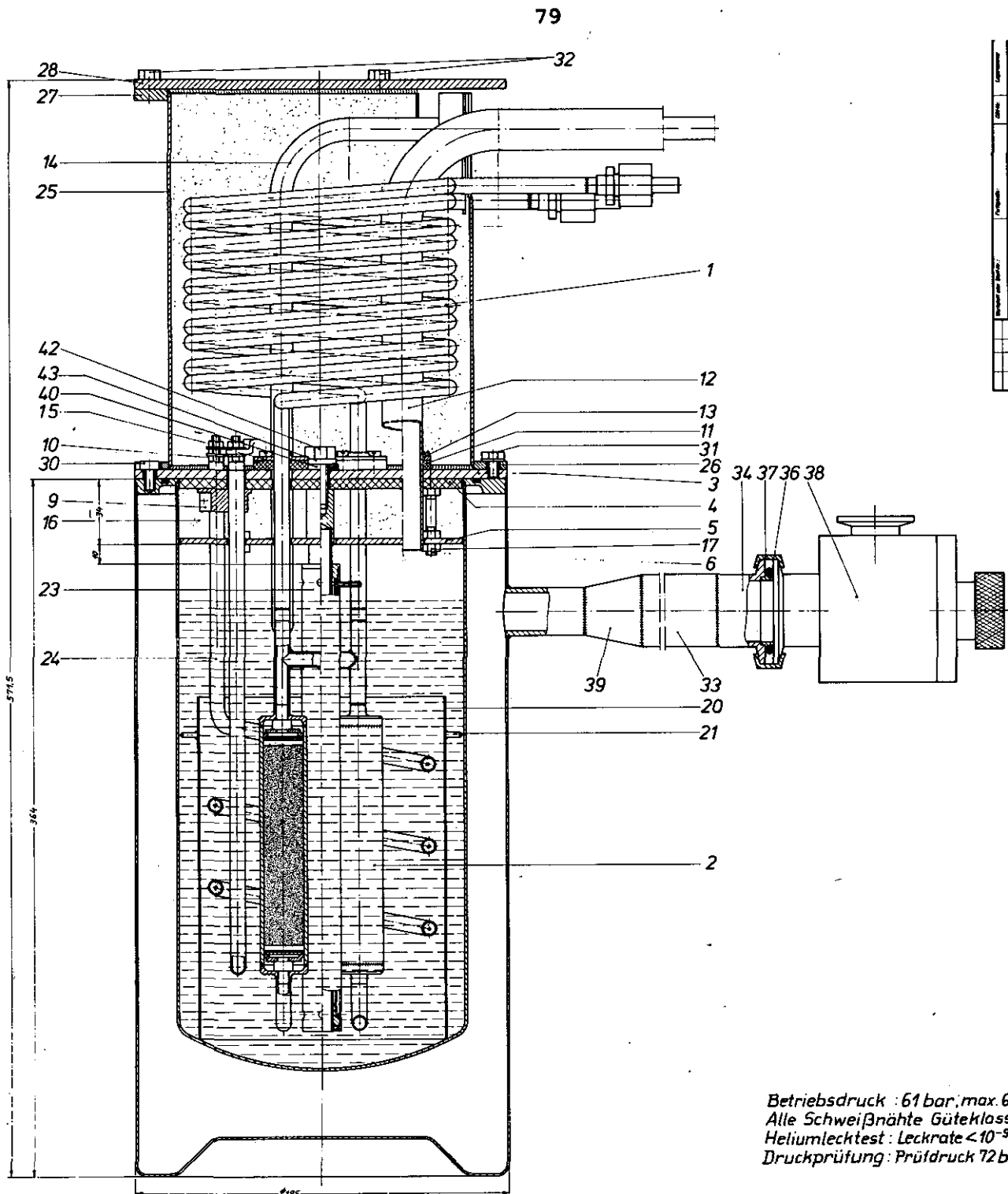


Abb. 2



**Abb. 3**

[illegible]



Zeichnung	Blatt	Legende
1:1		
2:1		
3:1		
4:1		
5:1		
6:1		
7:1		
8:1		
9:1		
10:1		
11:1		
12:1		
13:1		
14:1		
15:1		
16:1		
17:1		
18:1		
19:1		
20:1		
21:1		
22:1		
23:1		
24:1		
25:1		
26:1		
27:1		
28:1		
29:1		
30:1		
31:1		
32:1		
33:1		
34:1		
35:1		
36:1		
37:1		
38:1		
39:1		
40:1		
41:1		
42:1		
43:1		
44:1		
45:1		
46:1		
47:1		
48:1		
49:1		
50:1		
51:1		
52:1		
53:1		
54:1		
55:1		
56:1		
57:1		
58:1		
59:1		
60:1		
61:1		
62:1		
63:1		
64:1		
65:1		
66:1		
67:1		
68:1		
69:1		
70:1		
71:1		
72:1		
73:1		
74:1		
75:1		
76:1		
77:1		
78:1		
79:1		
80:1		
81:1		
82:1		
83:1		
84:1		
85:1		
86:1		
87:1		
88:1		
89:1		
90:1		
91:1		
92:1		
93:1		
94:1		
95:1		
96:1		
97:1		
98:1		
99:1		
100:1		

Betriebsdruck : 61 bar; max. 66 bar  
 Alle Schweißnähte Güteklasse I  
 Heliumlecktest : Leckrate  $< 10^{-9}$  Torr- $\frac{l}{sec}$   
 Druckprüfung : Prüfdruck 72 bar

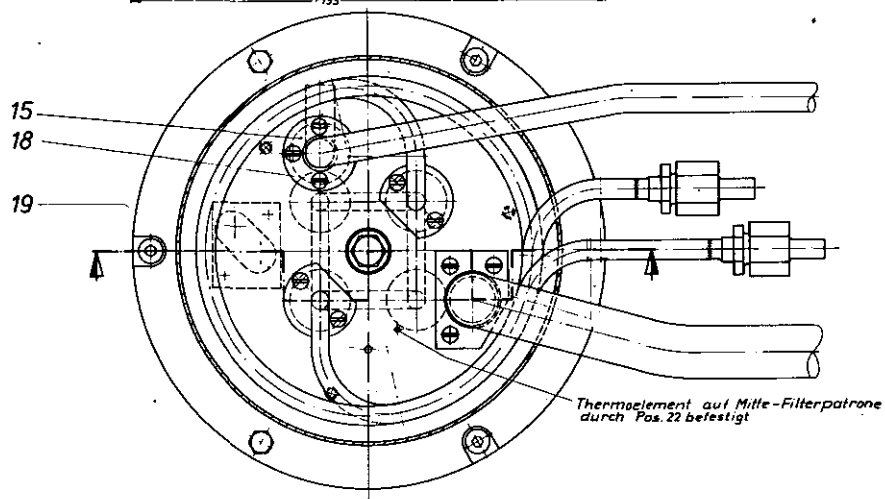
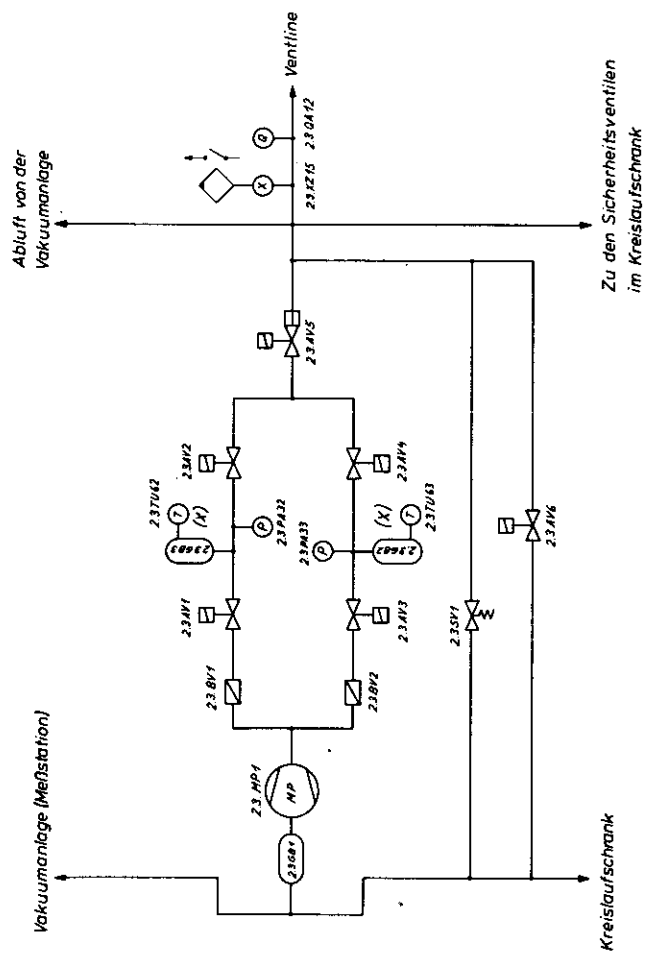
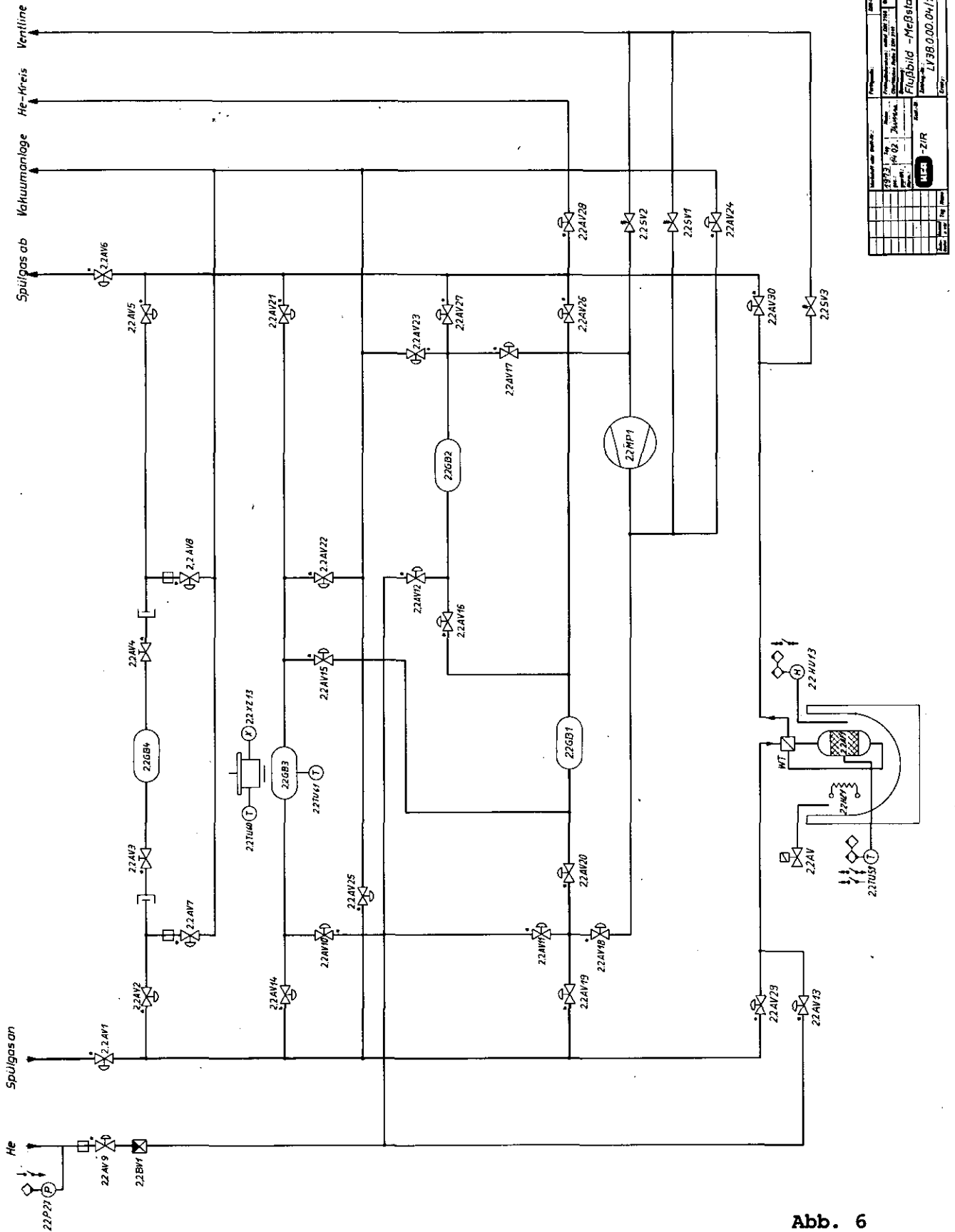


Abb. 4



Zeichnungs-Nr.	237042	237043	237044	237045	237046	237047	237048	237049	237050	237051	237052	237053	237054	237055	237056	237057	237058	237059	237060	237061	237062	237063	237064	237065	237066	237067	237068	237069	237070	237071	237072	237073	237074	237075	237076	237077	237078	237079	237080	237081	237082	237083	237084	237085	237086	237087	237088	237089	237090	237091	237092	237093	237094	237095	237096	237097	237098	237099	237100	237101	237102	237103	237104	237105	237106	237107	237108	237109	237110	237111	237112	237113	237114	237115	237116	237117	237118	237119	237120	237121	237122	237123	237124	237125	237126	237127	237128	237129	237130	237131	237132	237133	237134	237135	237136	237137	237138	237139	237140	237141	237142	237143	237144	237145	237146	237147	237148	237149	237150	237151	237152	237153	237154	237155	237156	237157	237158	237159	237160	237161	237162	237163	237164	237165	237166	237167	237168	237169	237170	237171	237172	237173	237174	237175	237176	237177	237178	237179	237180	237181	237182	237183	237184	237185	237186	237187	237188	237189	237190	237191	237192	237193	237194	237195	237196	237197	237198	237199	237200	237201	237202	237203	237204	237205	237206	237207	237208	237209	237210	237211	237212	237213	237214	237215	237216	237217	237218	237219	237220	237221	237222	237223	237224	237225	237226	237227	237228	237229	237230	237231	237232	237233	237234	237235	237236	237237	237238	237239	237240	237241	237242	237243	237244	237245	237246	237247	237248	237249	237250	237251	237252	237253	237254	237255	237256	237257	237258	237259	237260	237261	237262	237263	237264	237265	237266	237267	237268	237269	237270	237271	237272	237273	237274	237275	237276	237277	237278	237279	237280	237281	237282	237283	237284	237285	237286	237287	237288	237289	237290	237291	237292	237293	237294	237295	237296	237297	237298	237299	237300	237301	237302	237303	237304	237305	237306	237307	237308	237309	237310	237311	237312	237313	237314	237315	237316	237317	237318	237319	237320	237321	237322	237323	237324	237325	237326	237327	237328	237329	237330	237331	237332	237333	237334	237335	237336	237337	237338	237339	237340	237341	237342	237343	237344	237345	237346	237347	237348	237349	237350	237351	237352	237353	237354	237355	237356	237357	237358	237359	237360	237361	237362	237363	237364	237365	237366	237367	237368	237369	237370	237371	237372	237373	237374	237375	237376	237377	237378	237379	237380	237381	237382	237383	237384	237385	237386	237387	237388	237389	237390	237391	237392	237393	237394	237395	237396	237397	237398	237399	237400	237401	237402	237403	237404	237405	237406	237407	237408	237409	237410	237411	237412	237413	237414	237415	237416	237417	237418	237419	237420	237421	237422	237423	237424	237425	237426	237427	237428	237429	237430	237431	237432	237433	237434	237435	237436	237437	237438	237439	237440	237441	237442	237443	237444	237445	237446	237447	237448	237449	237450	237451	237452	237453	237454	237455	237456	237457	237458	237459	237460	237461	237462	237463	237464	237465	237466	237467	237468	237469	237470	237471	237472	237473	237474	237475	237476	237477	237478	237479	237480	237481	237482	237483	237484	237485	237486	237487	237488	237489	237490	237491	237492	237493	237494	237495	237496	237497	237498	237499	237500	237501	237502	237503	237504	237505	237506	237507	237508	237509	237510	237511	237512	237513	237514	237515	237516	237517	237518	237519	237520	237521	237522	237523	237524	237525	237526	237527	237528	237529	237530	237531	237532	237533	237534	237535	237536	237537	237538	237539	237540	237541	237542	237543	237544	237545	237546	237547	237548	237549	237550	237551	237552	237553	237554	237555	237556	237557	237558	237559	237560	237561	237562	237563	237564	237565	237566	237567	237568	237569	237570	237571	237572	237573	237574	237575	237576	237577	237578	237579	237580	237581	237582	237583	237584	237585	237586	237587	237588	237589	237590	237591	237592	237593	237594	237595	237596	237597	237598	237599	237600	237601	237602	237603	237604	237605	237606	237607	237608	237609	237610	237611	237612	237613	237614	237615	237616	237617	237618	237619	237620	237621	237622	237623	237624	237625	237626	237627	237628	237629	237630	237631	237632	237633	237634	237635	237636	237637	237638	237639	237640	237641	237642	237643	237644	237645	237646	237647	237648	237649	237650	237651	237652	237653	237654	237655	237656	237657	237658	237659	237660	237661	237662	237663	237664	237665	237666	237667	237668	237669	237670	237671	237672	237673	237674	237675	237676	237677	237678	237679	237680	237681	237682	237683	237684	237685	237686	237687	237688	237689	237690	237691	237692	237693	237694	237695	237696	237697	237698	237699	237700	237701	237702	237703	237704	237705	237706	237707	237708	237709	237710	237711	237712	237713	237714	237715	237716	237717	237718	237719	237720	237721	237722	237723	237724	237725	237726	237727	237728	237729	237730	237731	237732	237733	237734	237735	237736	237737	237738	237739	237740	237741	237742	237743	237744	237745	237746	237747	237748	237749	237750	237751	237752	237753	237754	237755	237756	237757	237758	237759	237760	237761	237762	237763	237764	237765	237766	237767	237768	237769	237770	237771	237772	237773	237774	237775	237776	237777	237778	237779	237780	237781	237782	237783	237784	237785	237786	237787	237788	237789	237790	237791	237792	237793	237794	237795	237796	237797	237798	237799	237800	237801	237802	237803	237804	237805	237806	237807	237808	237809	237810	237811	237812	237813	237814	237815	237816	237817	237818	237819	237820	237821	237822	237823	237824	237825	237826	237827	237828	237829	237830	237831	237832	237833	237834	237835	237836	237837	237838	237839	237840	237841	237842	237843	237844	237845	237846	237847	237848	237849	237850	237851	237852	237853	237854	237855	237856	237857	237858	237859	237860	237861	237862	237863	237864	237865	237866	237867	237868	237869	237870	237871	237872	237873	237874	237875	237876	237877	237878	237879	237880	237881	237882	237883	237884	237885	237886	237887	237888	237889	237890	237891	237892	237893	237894	237895	237896	237897	237898	237899	237900	237901	237902	237903	237904	237905	237906	237907	237908	237909	237910	237911	237912	237913	237914	237915	237916	237917	237918	237919	237920	237921	237922	237923	237924	237925	237926	237927	237928	237929	237930	237931	237932	237933	237934	237935	237936	237937	237938	237939	237940	237941	237942	237943	237944	237945	237946	237947	237948	237949	237950	237951	237952	237953	237954	237955	237956	237957	237958	237959	237960	237961	237962	237963	237964	237965	237966	237967	237968	237969	237970	237971	237972	237973	237974	237975	237976	237977	237978	237979	237980	237981	237982	237983	237984	237985	237986	237987	237988	237989	237990	237991	237992	237993	237994	237995	237996	237997	237998	237999	238000	238001	238002	238003	238004	238005	238006	238007	238008	238009	238010	238011	238012	238013	238014	238015	238016	238017	238018	238019	238020	238021	238022	238023	238024	238025	238026	238027	238028	238029	238030	238031	238032	238033	238034	238035	238036	238037	238038	238039	238040	238041	238042	238043	238044	238045	238046	238047	238048	238049	238050	238051	238052	238053	238054	238055	238056	238057	238058	238059	238060	238061	238062	238063	238064	238065	238066	238067	238068	238069	238070	238071	238072	238073	238074	238075	238076	238077	238078	238079	238080	238081	238082	238083	238084	238085	238086	238087	238088	238089	238090	238091	238092	238093	238094	238095	238096	238097	238098	238099	238100	238101	238102	238103	238104	238105	238106	238107	238108	238109	238110	238111	238112	238113	238114	238115	238116	238117	238118	238119	238120	238121	238122	2381
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------



1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207	
1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207	
1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207	
1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207	
1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

### 13. NEBENKREISLÄUFE

#### A. Zumloh, KFA-IRW

Dem Hauptkreislauf des He-Loops Mol sind mehrere Nebenkreisläufe zugeordnet, über die ich kurz referieren werde. Diese Nebenkreisläufe lassen sich wie folgt unterteilen in:

1. He-Reinigung und Gasanalyse,
2. Druckregelung und Gasversorgung,
3. Entleerungssystem,
4. Wasserkreisläufe.

Der Umfang der einzelnen Kreisläufe ist aus Bild 1 zu ersehen.

Die Ausführungen in diesem Referat beziehen sich im wesentlichen auf folgende Aspekte:

1. Aufgabe und Spezifikation,
2. Aufbau und Funktion,
3. Auslegung,
4. Stand der Arbeiten.

#### 1. He-Reinigung

##### 1.1 Aufgabe und Spezifikation der He-Reinigung

Die He-Reinigung hat die Aufgabe, die chemisch aktiven Restgasverunreinigungen aus dem Kühlgas zu entfernen, so daß die Passivität des Heliums als Kühlmittel gewährleistet ist. Darüber hinaus soll das System die bei einem Defekt des Venting-Systems in das Kühlgas gelangenden radioaktiven Jodisotope adsorbieren, da diese bei Inkorporation durch den Menschen auf diesen hochtoxisch wirken.

##### 1.1.1 Restgasverunreinigungen

Die Spezifikation der He-Reinigung verlangt die Entfernung folgender Restgasverunreinigungen:  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $C_nH_m$ , CO bzw.  $CO_2$ . Die Forderung, auch CO bzw.  $CO_2$  aus dem Kühlgas zu entfernen, resultiert in erster Linie daraus, daß das Loop früher mit  $CO_2$  als Kühlmittel betrieben worden ist. Durch den Einsatz der He-Reinigung soll gewährleistet werden, daß die Konzentration der genannten Restgasverunreinigungen im Kühlgas einen Wert von maximal 10 vpm nicht übersteigt.

##### 1.1.2 Durchsatz

Der Durchsatz in der He-Reinigung beträgt  $5 \text{ g/s} \hat{=} 101 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , das sind 2% vom Durchsatz des Hauptkreislaufes. Geplant ist, diesen Durchsatz während der laufenden Bestrahlungsdauer auf 1% zu reduzieren.

##### 1.1.3 Standzeit

Die Standzeit der zur Entfernung der Restgasverunreinigungen dienenden Filter soll mindestens eine Reaktorperiode betragen, danach



soll eine Regenerierung erfolgen. Für den Jod-Filter ist keine Regenerierungsmöglichkeit vorgesehen, folglich muß der Filter im Störfall in der Lage sein, die bei dem geplanten Zielabbrand von 60.000 MWd/t anfallenden Jod-Mengen zu adsorbieren.

## 1.2 Aufbau und Funktion

Die Reinigungsanlage wird im Bypass zum Hauptkreislauf betrieben, die treibende Druckdifferenz liefern die Gebläse des Hauptkreislaufes. Das System besteht im einzelnen aus folgenden hintereinandergeschalteten Komponenten:

- a) CuO-Filter, als Oxidationsstufe für  $H_2$  und CO,
- b) Cu-Filter, welcher zur Entfernung von  $O_2$  dient,
- c) Wärmetauscher, der die Kühlgastemperatur des CuO und Cu-Filter von ca. 250 auf 40°C senkt, um somit eine optimale Jod-Adsorption in dem nachgeschalteten Aktivkohlefilter zu erreichen.
- d) Molekularsieb-Filter, welcher  $H_2O$  und  $CO_2$  adsorbiert.
- e) Mechanischer Filter als Rückhaltefilter von Abriebpartikeln der Filterfüllungen.

## 1.3 Auslegung

### 1.3.1 CuO-Cu-Filter

Als Filtermaterial wird der BTS-Katalysator R3-11 verwendet wegen seiner hohen in Form von CuO gebundenen Sauerstoffmenge (ca. 50 l  $O_2$ /kg Katalysator). Die optimale Arbeitstemperatur, die mittels einer elektrischen Heizung konstant geregelt wird, liegt bei 200-250°C.

Entscheidend für die Auslegung dieser Filter ist weniger die Kapazität als vielmehr das Belastungsverhältnis des Katalysators, welches druckabhängig ist. Gewählt wird ein Belastungsverhältnis  $B = 7500:1$ , d. h. zur Reinigung von 7500 Nm<sup>3</sup> Gas/h ist eine Katalysatormenge von 1 m<sup>3</sup> erforderlich. (Siehe HRB-Versuche: bei  $B = 7500:1$  können  $O_2$ -Konzentrationen  $\geq 300$  vpm bis auf 0,09 vpm aus Helium entfernt werden und selbst geringe  $H_2$ -Konzentrationen  $\leq 2$  vpm werden noch zu ca. 80% umgesetzt.)

### 1.3.2 Jodfilter

Zur Adsorption von Jod wird eine Aktivkohle mit einer 1% KJ-Imprägnierung eingesetzt, weil imprägnierte A-Kohlen ein günstigeres Abscheidevermögen hinsichtlich evtl. auftretender Jodverbindungen (Methyljodid) aufweisen.

Bei einer Freisetzung von 50% fallen bei dem geplanten Zielabbrand insgesamt 0,039 g Jod an, die bei der gewählten Einsatzmenge (1,25 l A-Kohle) lediglich eine Sättigung des Filters von 0,6% bewirken würden. (Beladungskapazität:  $K = 0,1$  g Jod/g AK.)

Bei der gewählten Geometrie des Filters ergibt sich bei einer Verweilzeit von  $t_w \approx 1,7$  s ein Filterwirkungsgrad  $\eta_f = 99,99\%$ .

### 1.3.3 Molekularsieb-Filter

Zur Adsorption von  $H_2O$  und  $CO_2$  wird Molekularsieb verwendet (Typ 5A der Fa. Union Carbide) wegen seiner ausgezeichneten Koadsorptions-eigenschaften von  $H_2O$  und  $CO_2$ . Konstruktiv und von den Abmessungen her gesehen, ist der Molekularsieb-Filter identisch mit dem CuO- und dem Cu-Filter, dadurch wird eine Reservehaltung eines solchen Behälters sinnvoll, der bei Bedarf mit der entsprechenden Filter-

füllung versehen und in die Reinigung eingesetzt werden kann. Bei diesen Abmessungen ergibt sich für das Molekularsieb kapazitätsmäßig ein Sicherheitsfaktor von  $S = 2,5$ , wodurch gewährleistet ist, daß bei wesentlich höheren als den spezifizierten  $H_2O$ -Konzentrationen genügend Sicherheiten hinsichtlich eines Durchbruchs des Filters vorhanden sind.

#### 1.4 Gasanalyse

Mit der Gasanalyse, bestehend aus einem Gaschromatographen und einer Feuchtemeßstelle, werden im Normalfall die Restgasverunreinigungen im Hauptkreislauf gemessen, schaltungstechnisch ist jedoch auch möglich, mit dieser Anlage die Funktion der He-Reinigung zu überprüfen.

### 2. Druckregelung

#### 2.1 Aufgabe

Die Druckregelung hat die Aufgabe, den zur Kühlung des Test-Brennelementes erforderlichen Kühlgasdruck im Hauptkreislauf in vorgegebenen Grenzen konstant zu regeln.

#### 2.2 Aufbau und Funktion

Das System arbeitet nach dem sogenannten "feed and bleed"-System. Aus wirtschaftlichen Gründen wird mit einer Gas-Rückeinspeisung gearbeitet, d. h. das bei Überschreitung des Druck-Sollwertes vom Hauptkreislauf mittels eines Regelventils abgeblasene Gas wird bei Unterschreitung des Sollwertes in diesen wieder eingespeist. Nur die Leckverluste im Kühlkreislauf werden durch Frischgas kompensiert.

Vom Hauptkreislauf wird das Gas in einen Sammel-tank abgeblasen. Aus diesem fördert ein Kompressor das Gas in einen Vordruckbehälter bis auf maximal 100 atü. Vom Vordruckbehälter wird das Gas mittels eines Regelventils über die He-Reinigung in den Kreislauf eingespeist. Unterschreitet der Vordruck im Sammel-tank einen Mindestdruck, wird dem System automatisch Frischgas aus einer Flaschenbatterie zugeführt.

#### 2.3 Auslegung

Die Druckregelung ist so ausgelegt, daß sie Störgrößenänderungen von 1 at/min ausregeln kann. Aus Gründen der Betriebssicherheit sind einige Komponenten, wie z. B. der Kompressor, für eine Leistung von 20 Nm<sup>3</sup>/h ausgelegt.

### 3. Entleerungssystem

#### 3.1 Aufgabe

Wie der Name schon besagt, dient dieses System zum Entleeren des gesamten Kreislaufes oder zur Teilentleerung z. B. der IPS - eine Maßnahme, die beim Wechsel eines Test-Brennelements erforderlich ist. Das System sieht zwei Möglichkeiten zum Entleeren des Kreislaufs vor:

a) Entleerung im Normalfall

Bei einer Entleerung im Normalfall, das heißt bei nicht aktivem Kühlgas, wird das Gas zunächst in den Sammel-tank abgelassen, aus diesem kann es dosiert über einen Filter in die Abluft abgeblasen werden.

b) Entleerung im Störfall

Im Falle einer Kontamination des Kühlgases aufgrund eines Defektes am Venting-System verbietet sich die direkte Abgabe des Kühlgases in die Abluft. In einem solchen Falle geschieht die Entleerung dadurch, daß das Gas, wie im Normalfall, zunächst in den Sammel-tank abgelassen wird. Aus diesem wird es mittels eines Kompressors in eine Abklingbatterie umgefüllt und wird dort gelagert. Nach entsprechender Abklingzeit kann es unter Beachtung der Strahlenschutzbestimmungen dosiert in die Abluft gegeben werden. Durch eine solche Zwischenlagerung von kontaminiertem Gas ist gewährleistet, daß das Loop auch nach einem solchen Störfall kurzfristig wieder in Betrieb genommen werden kann.

Zum Entleerungssystem gehört ferner ein Vakuumpumpstand, der es ermöglicht, das gesamte Loop oder Teile desselben bis auf einen Endpartialdruck  $\approx 2 \cdot 10^{-3}$  Torr zu evakuieren.

#### 4. Wasserkreisläufe

Bei den Wasserkreisläufen unterscheidet man drei voneinander unabhängige Systeme. Es sind dieses:

- a) der Experimentekühlkreislauf,
- b) der Zwischenkühlkreislauf,
- c) der Lagunenwasserkreislauf.

Beim Experimentekühlkreislauf, der mit voll entsalztem Wasser betrieben wird, handelt es sich um ein geschlossenes Kühlsystem mit einer Leistung von 5 MW. Von diesem System werden alle die Komponenten des Experimentes mit Kühlwasser versorgt, deren Kühlung für die Sicherheit des Experimentes von ausschlaggebender Bedeutung ist. Dazu gehören:

- a) Kühler im Hauptkreislauf,
- b) Gebläse,
- c) Hilfskühlung,
- d) Kühler in der He-Reinigung.

Der Druck in diesem System, der 15 bar beträgt, wird überwacht. Ebenfalls überwacht wird der Kühlwasserdurchfluß an jedem der genannten Verbraucher.

Zur Kühlung der Vakuumpumpe und des Kompressors im Entleerungssystem dient der Zwischenkühlkreislauf. Dieses Kühlsystem ist erforderlich, da diese Pumpen nicht für den Druck des Experimentekühlkreislaufes ausgelegt sind.

Mit dem Lagunenwasserkreislauf werden die Kühler der Cubicle-Ventilation gespeist. Bei der Cubicle-Ventilation handelt es sich um ein System, das dazu dient, die Verlustwärme des Kreislaufs im Cubicle - das ist der Raum, in welchem die Hauptkomponenten des Loops untergebracht sind - abzuführen.

### Stand der Arbeiten

Die Auslegung der Kreisläufe ist abgeschlossen. Für neu zu erstellende Bauteile werden die Konstruktionsarbeiten in ca. vier Wochen abgeschlossen. Die Rohrleitungspläne für die Montage im Reaktor werden bis Mitte dieses Jahres erstellt. Die Fertigung neuer Bauteile wird zur Zeit in die Wege geleitet, Halbzeuge, Armaturen und Geräte hierfür sind größtenteils bestellt.

Die Montage im Reaktor beginnt im Herbst dieses Jahres und wird im 1. Halbjahr 1974 abgeschlossen.

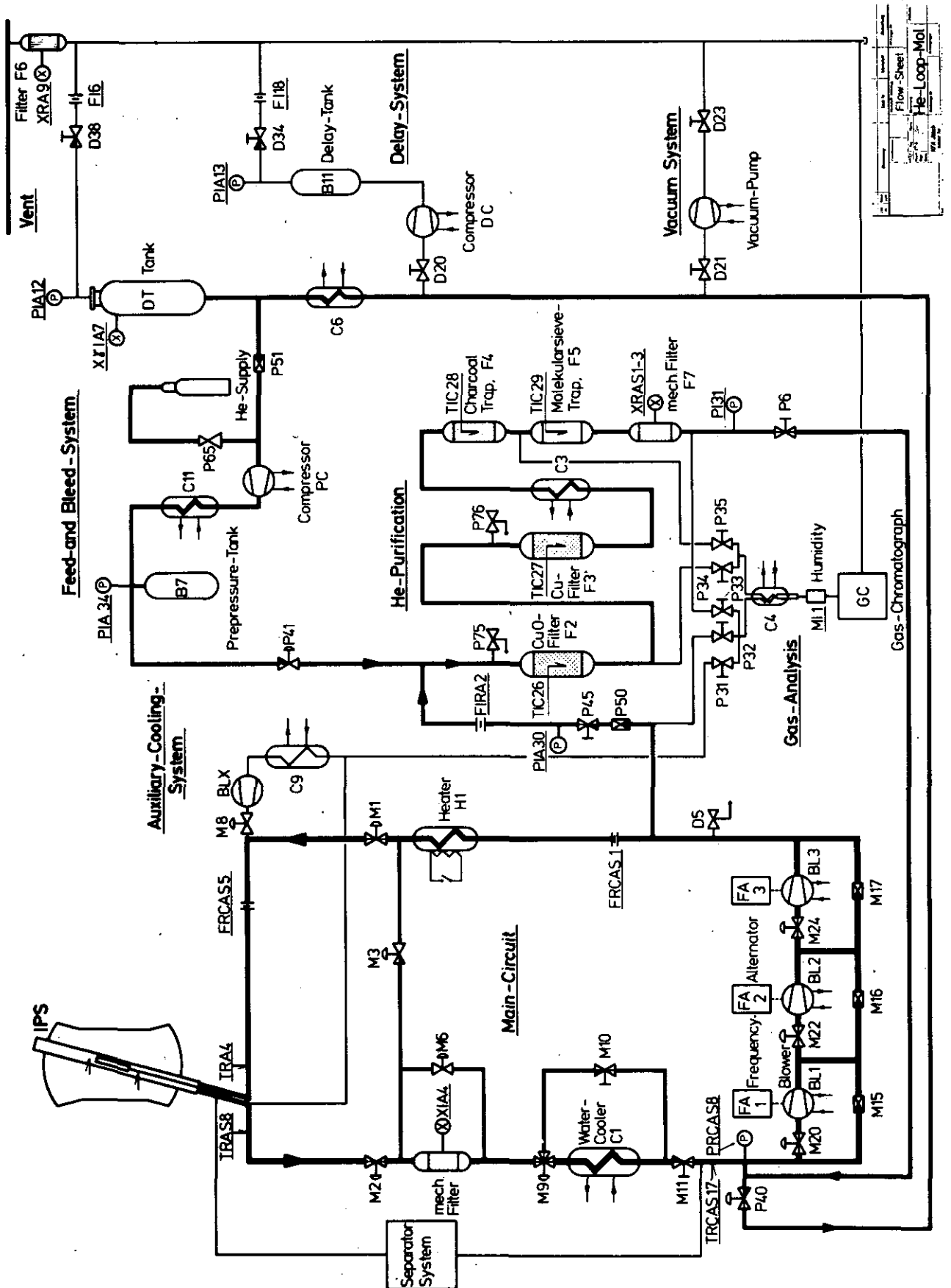


Abb. 1

## 14. INSTRUMENTIERUNG

J. Zeumann, KFA-ZIR

Die Instrumentierung hat die Aufgabe, alle für das Experiment wichtigen Größen zu messen, zu registrieren und - falls erforderlich - auch zu regeln. Dazu kommt die Sicherung der Experimentiereinrichtungen und des Betriebspersonals vor Schäden durch anomale Betriebszustände, sowie die gesamte Steuerung des Experimentes und natürlich die elektrische Versorgung.

Für die Messung der interessierenden Größen sind Meßwertaufnehmer und Transmitter über den ganzen Kreislauf verteilt. Die Anordnung der Aufnehmer im Kreislauf wurde einmal bestimmt durch die Forderungen des Experimentators nach der Messung bestimmter Größen, z. B. der Brennelementaustrittstemperatur oder der Gastemperaturdifferenz über das Brennelement, zum anderen wurde sie festgelegt nach der Auswertung der Störfallanalyse.

Diese Störfallanalyse wurde nach dem Prinzip des Fehlerbaums durchgeführt, wobei als kritischer Störfall die Überhitzung des Brennelementes angenommen wurde.

Die Fehlerbaumanalyse für den Hauptkreislauf ist im ersten Bild (Abb. 1) zu sehen, worauf man jedoch nur Aufbau und Umfang erkennen kann.

Oben sehen Sie den kritischen Störfall und darunter angeordnet und durch logische Symbole verknüpft, die Störmöglichkeiten, wobei die Untersuchung nicht über den Ausfall einzelner Geräte oder Kreislaufkomponenten hinaus ausgedehnt wurde. Allerdings sind Fehlbedienungen und Energieausfälle in der Untersuchung enthalten.

Reduziert man den Fehlerbaum auf seine Hauptäste, so bekommt man eine sehr übersichtliche Darstellung (Abb. 2), welche die wesentlichen Ausfälle enthält, die zum kritischen Störfall führen. Sie sehen, daß bei Ausfall der Betriebskühlung und der Hilfskühlung oder der Umschaltung auf die Hilfskühlung das Brennelement überhitzt wird. Vor der Umschaltung auf die Hilfskühlung, die automatisch abläuft, muß der Reaktor abgeschaltet sein.

Beide Kühlsysteme sehen von den Störmöglichkeiten her ziemlich gleich aus. Der Ausfall der Kühlwasserversorgung führt, da beide Wasserkühler an einer Versorgung liegen, zum kritischen Störfall.

Bei der Hilfskühlung erscheint an der Stelle des Systemdruckes, der hier keine Rolle mehr spielt, die Trennung der beiden Kühlkreise, die über Preßluft angetriebene Ventile vorgenommen wird.

Die Anordnung der Meßgrößenaufnehmer wurde so getroffen, daß Störungen möglichst weit unten im Fehlerbaum erkannt werden, so daß Zeit und Möglichkeiten bleiben, Gegenmaßnahmen zu treffen, um die Notbremse der Reaktorabschaltung möglichst nicht zu benutzen.

Neben der Überwachung einzelner Komponenten, wie Gebläse, Filter, Kühler usw., wird der Gasdurchfluß, der Systemdruck und die Brennelementaustrittstemperatur überwacht und von jeder der drei Größen wird bei Über- bzw. Unterschreiten bestimmter Grenzwerte über eine 2 v. 3-Auswahlschaltung der Reaktor abgeschaltet.

Diese drei Größen, die zur Abschaltung führen, werden durch je drei gleich aufgebaute, aber voneinander völlig unabhängige Meßkanäle erfaßt und überwacht, außerdem werden sie im Normalbetrieb geregelt.

Insgesamt kamen für den Hauptkreislauf 64 Meßstellen zusammen und die Störfallanalyse führte zu 87 überwachten Grenzwerten. Die Nebenkreisläufe und die Spaltgassammelanlage bringen nochmals etwa 55 bis 60 Meßstellen und etwa die gleiche Anzahl überwachter Grenzwerte.

Die Brennelementaustrittstemperatur kann von außen nur durch den Heliumdurchfluß oder die Gaseintrittstemperatur in das Brennelement beeinflußt werden. Da der Heliumdurchfluß konstant sein muß, bleibt für die Regelung die Gaseintrittstemperatur allein übrig. Wir können sie verändern, indem wir mehr oder weniger Wärme über den Wasserkühler aus dem Kreislauf ziehen. Dies geschieht durch Verändern des Gasstromes durch den Kühler mittels eines pneumatisch angetriebenen Stellventils, das den Gasstrom vor dem Kühler aufspaltet und einen Teil über den Kühlerbypass leitet.

Gemessen wird die Brennelementaustrittstemperatur durch 4 Thermoelemente. Es ist die Möglichkeit vorgesehen, die Meß- und Überwachungseinrichtungen von der Brennelementaustritts- auf die IPS-Austrittstemperatur umzulegen.

Über das Temperaturregelverhalten des ganzen Systems werden noch Untersuchungen angestellt. Mit den Ergebnissen hoffen wir eine Modellregelstrecke nachbilden zu können, die es uns gestatten wird, die Leistungsfähigkeit und die Grenzen der Regelung zu bestimmen.

Bei der Regelung des Systemdrucks treten gewisse Schwierigkeiten auf, die aus der Forderung resultieren, daß Druckänderungen am Ausgang der Inpilestrecke auf max. 0,1 bar ausgeregelt werden sollen.

0,1 bar Druckänderung werden im vorliegenden System hervorgerufen durch eine Gastemperaturänderung von 0,8 Grad oder einen Gasverlust von 65 Nl.

Der Systemdruck liegt bei 61 bar. Seine absolute Höhe läßt sich elektrisch nicht wesentlich besser als 1% genau messen, was in diesem Fall auch nicht erforderlich ist, wenn wir nur Druckschwankungen wesentlich genauer erfassen können.

Mit einer Differenzdruckmessung des Kreislaufdruckes gegen einen genügend konstanten Referenzdruck von 61 bar können noch Druckänderungen von 0,01 bar sicher gemessen werden.

Die Erzeugung des Referenzdruckes ist so vorgesehen, daß ein Volumen von etwa 1-2 Litern auf 61 bar aufgepumpt und dann verschlossen wird. Das Ganze wird auf konstanter Temperatur gehalten. Der Druck muß etwa 2 mal pro Jahr nachgeblasen werden oder die Temperatur muß höher gesetzt werden, um Verluste auszugleichen.

Beeinflußt wird der Systemdruck durch Ablassen oder Einspeisen von Gas in den Kreislauf über pneumatische Stellventile mit linearer Charakteristik. Hier hätten wir lieber gleichprozentige Cha-

rakteristik eingesetzt, aber bei einem maximalen Durchsatz von nur  $40 \text{ Nm}^3/\text{h}$  gibt es diese leider nicht mehr. Mit diesem Durchfluß können Druckänderungen von  $1 \text{ bar/min}$  ausgeregelt werden.

Der Gasdurchfluß im Kreislauf wird über die Drehzahlverstellung der Gebläse geregelt. Jedes der drei Gebläse ist mit einem eigenen Generator ausgerüstet, der in der Lage ist,  $380 \text{ V}$  bei  $250 \text{ Hz}$  zu erzeugen, was einer Gebläsedrehzahl von  $15.000 \text{ Upm}$  entspricht. Angetrieben wird jeder Generator durch einen Gleichstrommotor. Die Regelung wirkt auf die Drehzahl des Gleichstrommotors und damit auf die Frequenz des Generators. Die Generatorfrequenz ist der Gebläsedrehzahl proportional. Gemessen wird der Durchfluß mittels Differenzdruckmessung über ein Venturirohr, wobei Druck- und Temperaturänderungen durch eine Rechenschaltung berücksichtigt werden.

Zur Umstellung der Instrumentierung des alten  $\text{CO}_2$ -Loops auf Helium wäre zu sagen, daß durch sie die Meßbereiche aller Meßgrößen abgeändert werden müssen, ausgenommen ist der Druck, er stimmt mit dem alten Betriebsdruck überein. Da die alten Aufnehmer und Geräte wiederverwendet werden sollen, müssen sie umgebaut werden.

Die alten Regelkreise am  $\text{CO}_2$ -Loop hatten völlig andere Aufgaben zu erfüllen, als die am neuen Experiment. Sie müssen neu aufgebaut werden; wir können jedoch einen Teil der Geräte und Regler wieder einsetzen.

Das alte Alarmsystem wird durch das am Jülicher Experiment übliche Bausteinsystem, das auch in Mol und Studsvik schon eingesetzt wurde, ersetzt.

Die alte Installation wird durch räumliche Umgruppierungen, z.B. durch Verlegen von Baugruppen aus der 4. in die 0. Etage und durch Entfernen der Gebläseantriebe aus der Reaktorglocke sowie durch Demontagearbeiten am Rohrsystem zum großen Teil unbrauchbar.

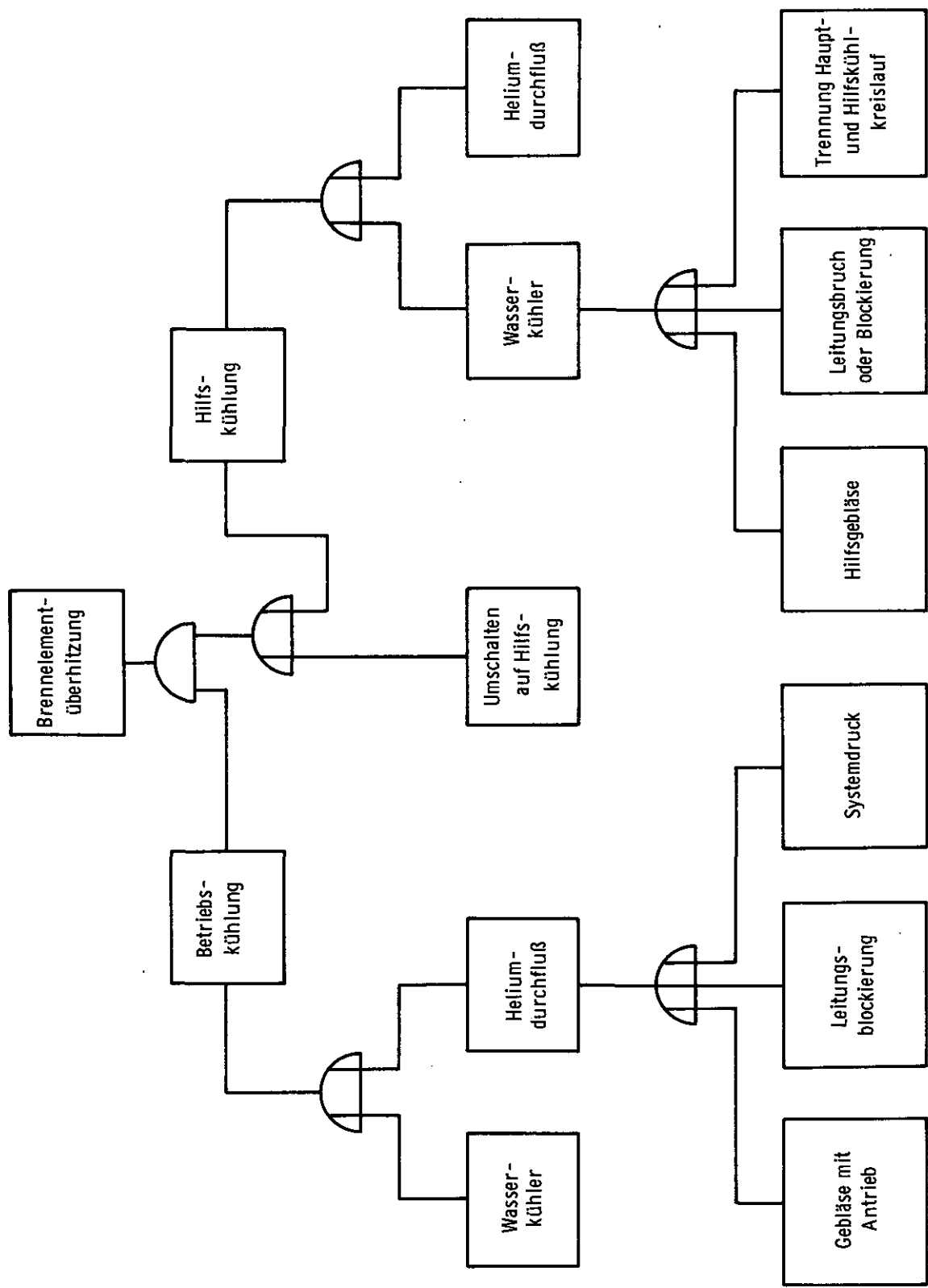
Das Hauptkontrollpult ist die Zentrale, in der alle Meßwerte angezeigt und registriert werden und von der aus das ganze Experiment überwacht und gesteuert wird. Es kann nach größeren Umbauten von der alten Anlage übernommen werden. Das gleiche gilt für die elektrischen Versorgungseinheiten.

Im Augenblick sind wir soweit, daß das Konzept für die Messung, Überwachung und die Steuerung des Experimentes ausgearbeitet ist. Einzelne Teilprobleme, wie z. B. die Druckregelung, sind schon wesentlich weiter gediehen.

In Mol wurden alle Geräte, die wiederverwendet werden sollen, demontiert. Sie werden zum Umbau und zur Kalibrierung nach Jülich geholt. Es ist vorgesehen, den Umbau der Instrumentierung soweit wie möglich in Jülich vorzunehmen und in Mol nur noch fertige Baugruppen zu montieren und die erforderliche Installation durchzuführen.







Vereinfachte Darstellung des Hauptkreislauf - Fehlerbaumes

ZIR

KFA

GEZEICHNET, DATUM:	NORMGEPRÜFT:	ABLAGENUMMER:
GEÄNDERT, DATUM:	SÄCHLICH RICHTIG:	ASSISTENT:

Abb. 2

## 15. TERMINPLANUNG

### A. Lambertz, KFA-ZIR

Sie alle kennen, sei es durch eigene Mitarbeit oder jetzt durch diese Übersichtsvorträge, Größe und Umfang dieses Projektes. Es ist heute selbstverständlich, Forschungs- und Entwicklungsvorhaben dieser Größenordnung mit modernen Planungsmethoden zu planen, zu überwachen und zu steuern. Allerdings, dies sollte gleich zu Anfang gesagt werden, ist der Einsatz dieser Planungsverfahren keine Garantie für das Gelingen von Projekten, sondern nur ein Hilfsmittel, um den Projektablauf überschaubarer zu gestalten. Das Ziel einer Projektplanung besteht im wesentlichen darin, eine ordnungsgemäße Abwicklung des Projektes zu ermöglichen und sicherzustellen. Die Projektplanung soll in diesem Rahmen durch die Analyse des Projektablaufes dazu beitragen, Engpässe und Problemzonen rechtzeitig zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur Behebung vorzuschlagen, um so einen möglichst optimalen Projektablauf zu erreichen. Der Projektablauf wird allerdings oft von Störfaktoren beeinflusst, die es notwendig machen, den Plan zu ändern. Projektplanung ist mit dem Beginn eines Projektes nicht abgeschlossen, der Verlauf eines Projektes ist ein dynamischer Vorgang bis zum Abschluß. Deshalb ist nach der Terminplanung die Terminverfolgung wichtig, gestattet sie es doch, Schwierigkeiten und Verzögerungen frühzeitig zu erkennen und zu beheben, ferner wird verhindert, Vorgänge zu übersehen oder zu spät in Angriff zu nehmen. Doch nun zur Abwicklung selbst:

Seit einigen Jahren schon arbeiten wir im ZIR mit Netzplänen, und zwar nach der CPM (= Critical Path Method). Ich darf schnell rekapitulieren: Ein CPM-Netzplan ist im allgemeinen ein vorgangsorientiertes Ablaufdiagramm, wobei unter Vorgang eine Tätigkeit, eine Lieferfrist oder auch eine Wartezeit verstanden werden kann. Der Netzplan stellt sich dar als Vorgangspfeilnetz, wo die einzelnen Vorgänge als Pfeile zwischen zwei Knoten erscheinen. Die Berechnung des Netzplanes ergibt dann die frühesten und spätesten Anfangszeitpunkte, die frühesten und spätesten Endzeitpunkte, den Endtermin und den kritischen Pfad als die Aneinanderreihung der Vorgänge, die ohne Verschiebung des Endtermins nicht verlängert werden dürfen, also Vorgänge, die keine Pufferzeiten haben. Jede Tätigkeit trägt außerdem noch die Nummer des Verantwortlichen, so daß es durch einen einfachen Sortiervorgang möglich ist, die jeweils für eine Tätigkeit Verantwortlichen anzusprechen.

Die Anzahl der hier vorhandenen Vorgänge erforderte den Einsatz der EDV. Wir benutzen seit 1969 ein im ZIR entwickeltes Netzplanberechnungsprogramm für Termine und Kapazitäten, das sich dadurch auszeichnet, daß es die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer gleichzeitig ablaufender Projekte, die naturgemäß über die Kapazitätsbereiche gekoppelt sind, gestattet.

Nach den Regeln der Netzplantechnik ist das gesamte Vorhaben aufgeteilt worden in Arbeitspakete, zu denen die jeweiligen Sachbearbeiter die voraussichtlichen Dauern und für die Bereiche, die vom ZIR bearbeitet werden, auch den Kapazitätsbedarf genannt ha-

ben. Zusammengehörige Tätigkeiten sind zu Netzplänen vereinigt, die den einzelnen Baugruppen entsprechen. So entstanden für dieses Projekt 17 Einzelnetzpläne, Einzelnetzpläne deshalb, weil zunächst verschiedene Sachbearbeiter die einzelnen Baugruppen bearbeiten, ferner weil die Zusammenfassung aller Einzeltätigkeiten zu einem Großnetzplan mehr dem Renommee als der Übersichtlichkeit dient. Die jeweiligen Sachbearbeiter bekommen ihre Netzpläne, als Ausdruck des Rechners eine Terminliste als Auflistung aller seiner Tätigkeiten, geordnet nach dem frühesten Endzeitpunkt, ferner Terminabfragezettel (Abb. 1) über die Vorgänge, die in den jeweiligen Abfragezyklus fallen. Der Zyklus beträgt im Augenblick 14 Tage. Die Terminabfragezettel nennen die Vorgangsnummer, Vorgangsbezeichnung und die Dauer und fragen bei Vorgängen, die im Abfragezeitraum begonnen haben, nach planmäßigem Beginn; bei Vorgängen, die während des Abfragezeitraums schon liefen, nach planmäßigem Verlauf und bei Vorgängen, die innerhalb dieses Zeitraumes endeten, nach deren planmäßiger Beendigung (Abb. 2). Bei nicht planmäßigem Verlauf ist die Verzögerung anzugeben und bildet die Grundlage für eine neuerliche Terminberechnung. Das gleiche gilt bei geändertem Kapazitätsbedarf für die Kapazitätsangaben, das ist allerdings nur für die Abteilungen interessant, für die eine Kapazitätsbedarfsrechnung durchgeführt wird. Die Terminplanung erhält eine Auflistung aller Vorgänge als Gesamtübersicht der Terminlage des Projektes, die jeweiligen Sachbearbeiter, wie wir vorher sahen, eine Auflistung der Vorgänge, die unter ihre Verantwortlichkeit fallen. Für die Projektkoordination sind alle diese detaillierten Angaben natürlich zu umfangreich und unübersichtlich. Deshalb ist diesem Netzplanberechnungsprogramm ein Informationssystem angeschlossen, mit dessen Hilfe zusammengefaßte, markante Punkte des Projektablaufes der Projektleitung und anderen leitenden Mitarbeitern bekanntgemacht werden.

An Hand des beigegeführten Netzplanes (Abb. 3), es ist der Netzplan des Spaltgassammelsystems, läßt sich die Entstehung klarmachen. Für die Koordinationsebene sind z. B. die Einzeltätigkeiten 253-255 Planung der Instrumentierung des Kreislaufschrankes, 253-256 Planung der Instrumentierung der Meßstation und 253-257 Plan Anschluß Inpile-Strecke und sonstige Anschlüsse nicht interessant, es genügt die Zusammenfassung all dieser Tätigkeiten, nämlich Planung der SPAGS-Instrumentierung, als Angabe für das Informationssystem. Sinngemäß gilt das gleiche für den Punkt 155 oder 124 als Abschluß und Zusammenfassung mehrerer Tätigkeiten. Da allerdings nicht alle markanten Vorgangsabschlüsse jeden interessieren, ist ein Adressierungssystem gewählt worden, das bei geringem Kernspeicherplatzbedarf es dennoch gestattet, individuell zu informieren.

Mit Hilfe dieses Informationssystems werden in frei wählbaren Abständen, evtl. alle Monate, die für das Informationssystem benannten Personen über den Stand des Experimentes und über die Dauer der noch ausstehenden Tätigkeiten bis zum Endtermin unterrichtet. Die Vorgänge des kritischen Pfades sind erkenntlich an den identischen Terminen für frühesten und spätesten Beginn und für frühestes und spätestes Ende, also Vorgänge, die keine Pufferzeiten haben. Statt der Angabe der Pufferzeiten stehen dann im Output Sternchen. Auch diese Liste ist geordnet nach frühesten Endterminen. In etwa entspricht die Informationsliste dem

Koordinationsnetzplan (Abb. 4), der - wie man aus dem Bilde ersieht - die geraffte Zusammenfassung aller 17 Einzelnetzpläne enthält.

Eine dritte Informationsmöglichkeit, diesmal in knappster Form, ist der Meilensteinplan (Abb. 5), den Sie auch als letzte Abbildung im 1. KFA-Statusbericht finden; er ist gedacht zur Information des Managements der obersten Ebene, der Entscheidungsebene. Als Netzplan ist er diesmal ereignisorientiert, nicht vorgangsorientiert. Hier sind also die Linien zwischen den einzelnen Kästchen keine Vorgänge, sondern nur logische Verknüpfungen der Kästchen untereinander, die abgeschlossene Vorgänge, also Ereignisse, darstellen. Dieser Plan beleuchtet die Terminalsituation, wie wir sie im Augenblick sehen. Die IPS bildet den kritischen Pfad, und zwar sind dies die Vorgänge der Baugruppe "Rohrsystem einschließlich Überwachungsaggregate". Eine Verzögerung im Ablauf der dazu gehörenden Vorgänge würde also den Endtermin verschieben. Die dick ausgezogene Linie versinnbildlicht den kritischen Pfad.

Die erste Spalte des Meilensteinplanes behandelt durchgehend Entwurfs- und Konzeptionstätigkeiten, die teilweise schon abgeschlossen sind, teilweise in kurzer Zeit abgeschlossen sein müssen. Die zweite Spalte enthält generell Konstruktionsarbeiten, die - wie Sie an den Terminen sehen - alle 1973 abgeschlossen sein sollten; die nächste Spalte Fertigungs- und Erprobungstätigkeiten, wichtig ist hierbei der späteste Termin dieser Spalte, die abgeschlossene Fertigung und Prüfung der IPS. Die erfolgte Eingangsprüfung in Mol und Freigabe der Bauteile zur Aufstellung und Montage im Reaktor schien uns als Termin wichtig, die Termine variieren je nach Wichtigkeit und Schwierigkeit der Baugruppe, dies war geplant, um die Eingangsprüfungen über einen längeren Zeitraum auszudehnen. Ähnliches gilt sinngemäß für die Montage aller Baugruppen innerhalb des Cubicle-Raumes, bei der auch eine zeitliche Hintereinanderfolge der Fertigstellungs- und Auslieferungstermine für das Arbeiten unter beschränkten Raumverhältnissen sich günstig auswirkt.

Die nächste Spalte enthält die Abschlußtermine der Erprobungs- und Abnahmearbeiten. Die Baugruppen des Out-of-pile-Teiles werden dann gemeinsam fertigmontiert und erprobt (Mitte November 1974). Nach Abschluß dieser Arbeiten erfolgt dann der Einbau der IPS und die Schlußabnahme. Termin 11.12.1974. Die Vorbereitungsphase ist damit beendet, und es beginnt die eigentliche Durchführung des Experimentes.

Ich darf zum Schluß nochmal zusammenfassen (Abb. 6): Einzelnetzpläne, Terminlisten aller der Tätigkeiten, die unter eine Verantwortlichkeit fallen, und Terminabfragezettel über die Tätigkeiten innerhalb des Abfragezeitraumes an die Projektsachbearbeiter. Ausführungsebene: ca. 600-700 Vorgänge. Koordinationsnetzplan und Informationssystem markanter Vorgänge an Verantwortliche der Koordinationsebene: ca. 80 Vorgänge. Meilensteinplan mit spätesten Endterminen als übersichtlichste Information an die Entscheidungsebene: ca. 40 Vorgänge. Seitens der Planung hoffen wir, daß Sie mit der vorher geschilderten Art der Terminplanung und der Terminverfolgung und mit den verschiedenen Arten der mehr oder minder detaillierten Informationssysteme im Rahmen dieses Projektes zufrieden sind.

TERMINPLANUNG ZIR      STICHTAG: 24.08.70      AN: 29      HERRN L. BOERDING  
TERMINZETTEL ZU DEM NETZPLAN: 3      ZIEHFLASCHE MV1/4      UM RUECKGABE BIS ZUM: 25.08.70 WIRD GEBETEN

VORGANG:    ANFRAGEN+BEST. MESS+REGELAPPARAT .....  
DAUER LAUT PLAN:    2 ARBEITSWOCHEN  
LIEGT ZWISCHEN EREIGNIS NR.: 17 UND EREIGNIS NR.: 30  
START DES VORGANGES: 10.08.70    GEPLANTER ABSCHLUSS: 24.08.70

IST DER VORGANG PLANMAESSIG BEENDET? .....  
UM WIEVIELE ARBEITSWOCHEN WURDE DER VORGANG FRUEHER BEENDET? .....  
UM WIEVIELE ARBEITSWOCHEN WIRD DER VORGANG VORAUSSICHTLICH SPAETER BEENDET WERDEN? .....  
KAPAZITAETSBEDARF LAUT PLAN:    0.1 ING      AUS DEM BEREICH: INSTRUM.INGEN.  
STIMMT DIESE ANGABE NOCH? .....  
UM WIEVIEL ING    IST DER BEDARF GROESSER? .....  
UM WIEVIEL ING    IST DER BEDARF KLEINER? .....

BEMERKUNG:.....  
.....  
UNTERSCHRIFT:.....

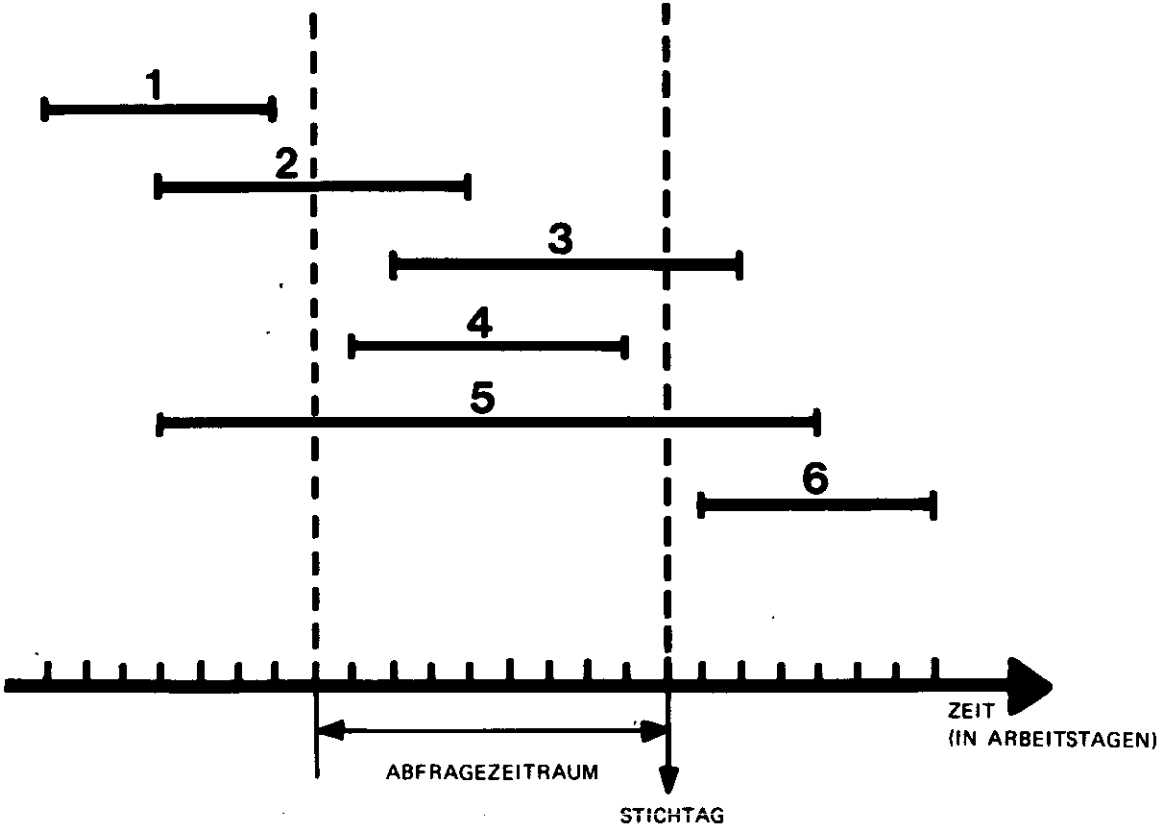
DAUER LAUT PLAN:    5 ARBEITSWOCHEN  
LIEGT ZWISCHEN EREIGNIS NR.: 17 UND EREIGNIS NR.: 33  
START DES VORGANGES: 10.08.70    GEPLANTER ABSCHLUSS: 14.09.70  
VERLAEUFT DER VORGANG PLANMAESSIG? .....  
UM WIEVIELE ARBEITSWOCHEN KANN DER VORGANG VORAUSSICHTLICH FRUEHER BEENDET WERDEN? .....  
UM WIEVIELE ARBEITSWOCHEN WIRD DER VORGANG VORAUSSICHTLICH SPAETER BEENDET WERDEN? .....  
KAPAZITAETSBEDARF LAUT PLAN:    0.1 ING      AUS DEM BEREICH: INSTRUM.INGEN.  
STIMMT DIESE ANGABE NOCH? .....  
UM WIEVIEL ING    IST DER BEDARF GROESSER? .....  
UM WIEVIEL ING    IST DER BEDARF KLEINER? .....

BEMERKUNG:.....  
.....  
UNTERSCHRIFT:.....

KFA

Terminabfragezettel mit Kapazitätsangaben    Abb. 1

ZIR

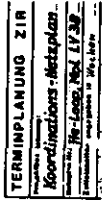


KFA

Bezug der Netzplanvorgänge zum Abfragezeitraum.    Abb. 2

ZIR





**Encl. B.E. + F.T.D.**



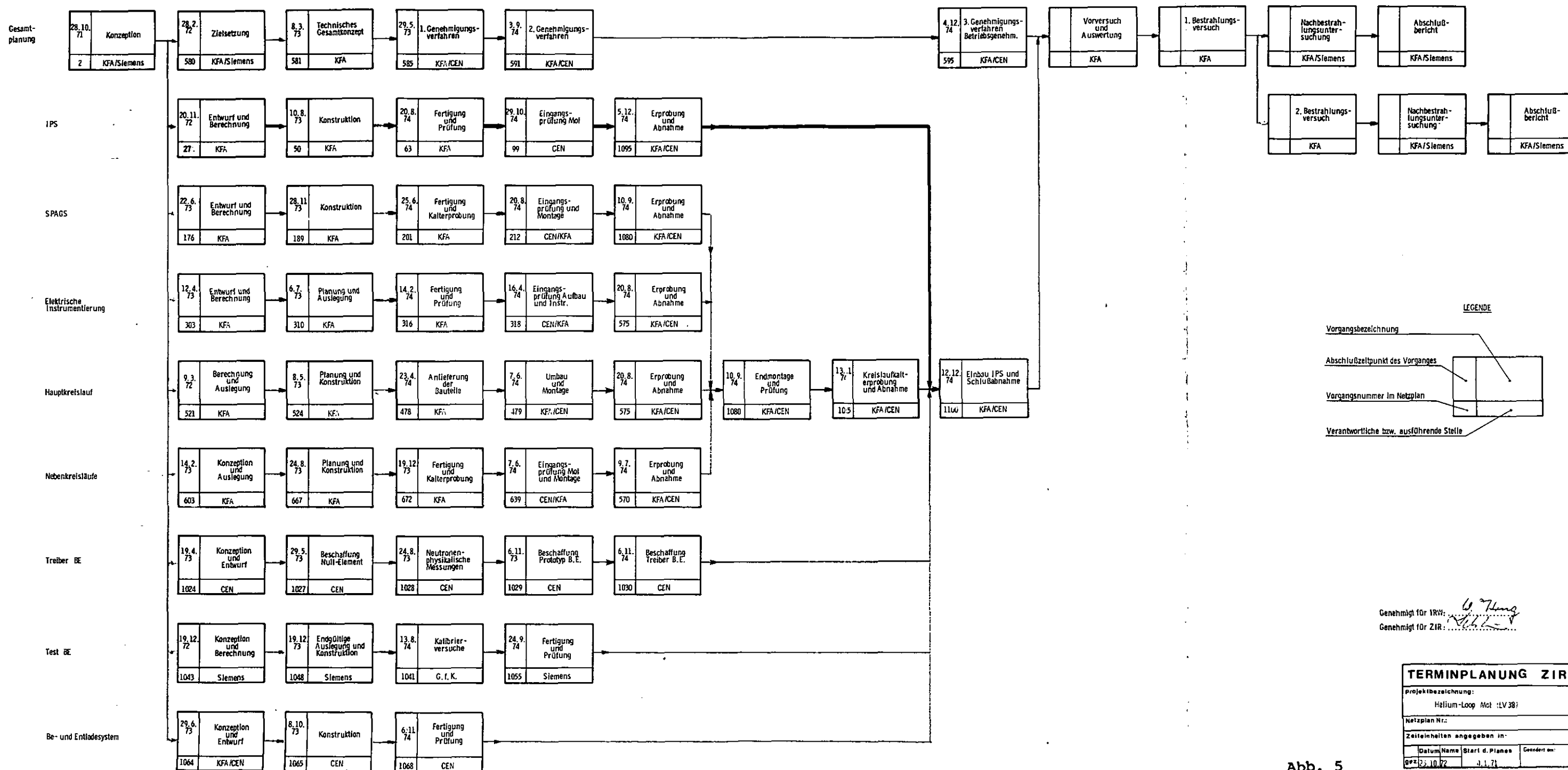
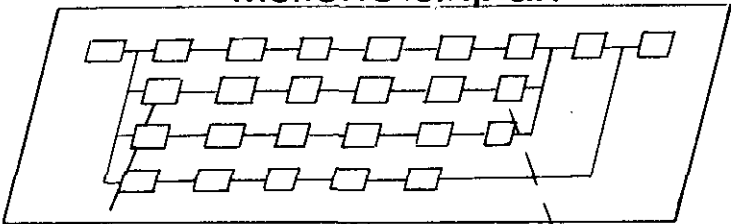


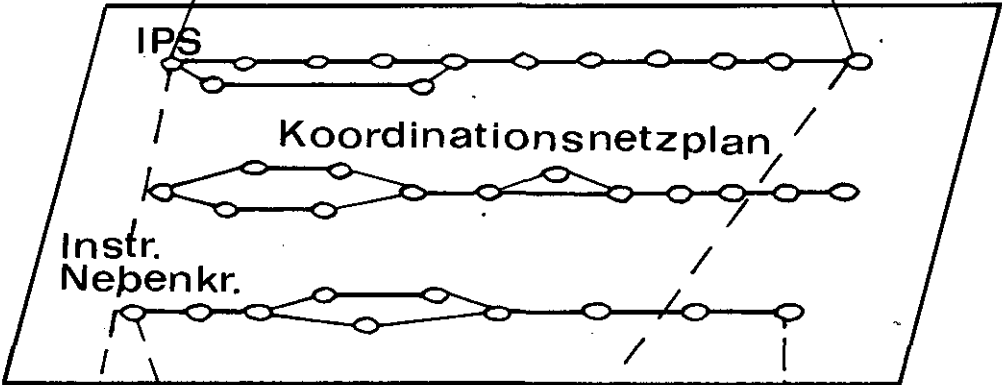
Abb. 5

Entscheidungsebene

Meilensteinplan



Koordinationssebene



Ausführungsebene

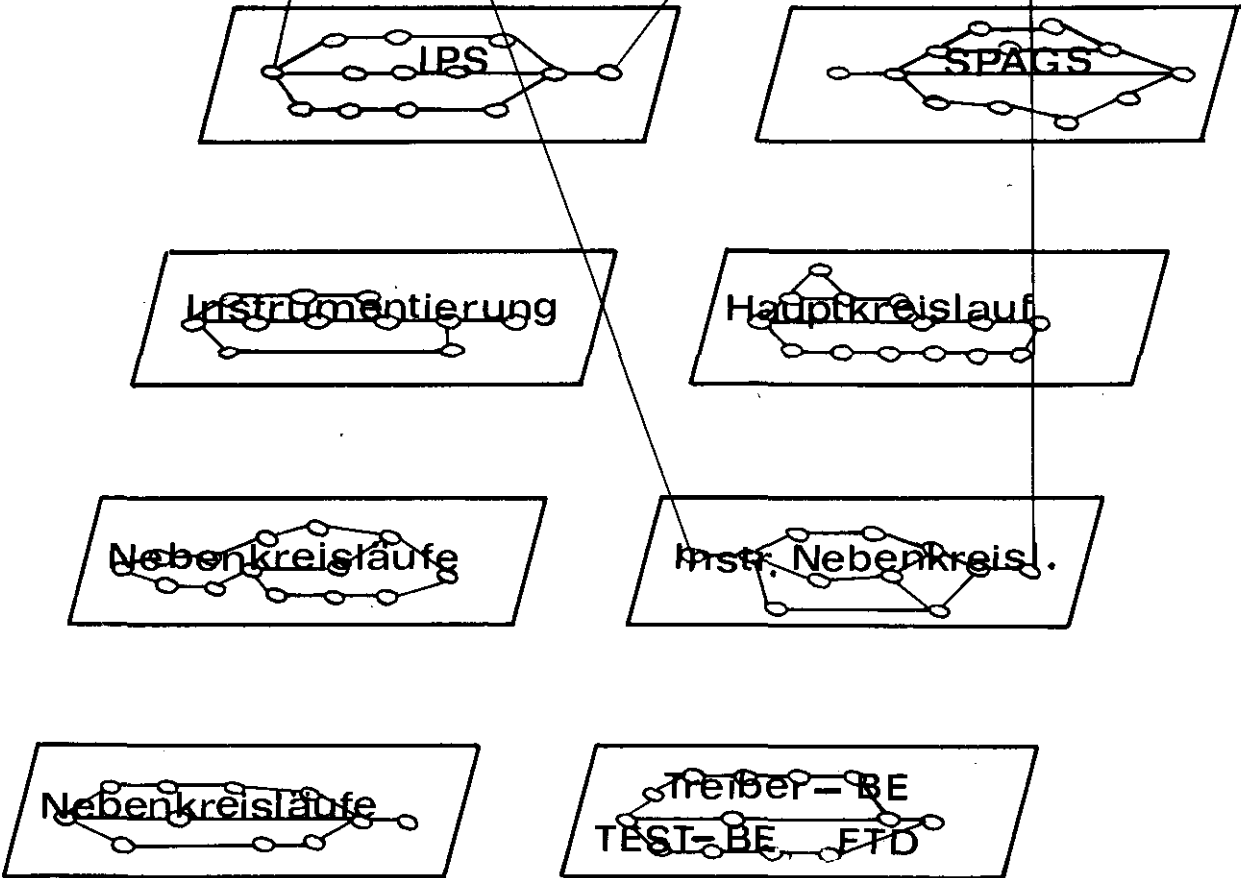


Abb. 5

## 16. SCHLUSSWORT

Dr. S. Krawczynski, KFA-IRW

Ich glaube, im Namen der Partner - der KFA-Jülich und der Siemens AG - können wir allen hier, Aktiven und Zuhörenden, herzlichst danken, den Sprechern für die Vorträge und den Gästen für ihre Geduld und ihre Aufmerksamkeit. -

Wir haben vor, jährlich diese Veranstaltung zu wiederholen und Sie von dem Fortgang der Dinge zu informieren.

Vielen herzlichen Dank!